国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

农业机械

Agricultural Machinery

中国农业机械化科学研究院
中国农业机械工业协会 组编
李树君 主编

机械工业出版社
China Machine Press

李树君，1962年7月出生，现任中国农业机械化科学研究院院长、研究员、博士生导师，享受政府特殊津贴，新世纪百千万人才工程国家级人选。主要从事农业工程装备技术创新与战略发展研究，致力于推动行业国际科技合作与交流。

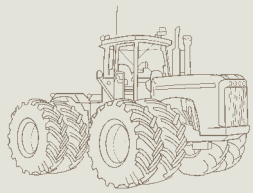
担任农业装备产业技术创新战略联盟理事长，中国食品和包装机械工业学会理事长，中国农业机械工业协会副会长，中国农业机械学会秘书长，全国农业机械标准化委员会主任委员；亚洲农业工程学会主席，国际农业和生物系统工程学会常务理事和农产品加工分会副主席，国际食品工程学会国家代表。

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

农业机械

Agricultural Machinery



中国农业机械化科学研究院
中国农业机械工业协会 组编
李树君 主编

机械工业出版社
China Machine Press

本书系统研究了国际、国内农机产业链的形态和发展趋势，从战略高度为我国农机产业未来发展提供了具有现实性和可操作性的指导建议。全书包含 4 篇共 21 章内容：第 1 篇行业综合（第 1 ~ 5 章），系统分析了国际国内农机产业发展现状与趋势，提出了行业发展规划目标、方向与措施；第 2 篇产品专题（第 6 ~ 12 章），重点分析了大功率拖拉机、收获机械、田间作业机具、精量植保机械、节水灌溉机械、育种机械、农产品产地商品化加工机械等典型农机产品先进技术的发展方向；第 3 篇先进制造技术（第 13 ~ 16 章），重点分析了我国农机制造业发展现状与趋势，研究了我国农机先进制造技术产业发展战略；第 4 篇国际化发展（第 17 ~ 21 章），分析了国际化面临的形势与任务、国外政策经验和典型企业国际化发展策略，提出了我国农机行业国际化发展的战略选择、对策措施和政策建议。

本书将普及性、科学性有机地统一起来，既具有一定的理论深度，又具有浅显易懂、实用的特点，既适合各级政府和行业决策机构制定政策法规、学术研究机构规划研究方向时参考，也适合企业决策者，技术、管理和市场人员以及投资、证券行业和咨询机构的人员在规划、投资、研究、项目实施中使用。

图书在版编目（CIP）数据

中国国战略性新兴产业研究与发展. 农业机械/李树君主编. —北京：机械工业出版社，2013. 6
ISBN 978-7-111-42460-4

Ⅰ. ①中… Ⅱ. ①李… Ⅲ. ①新兴产业-产业发展-研究-中国②农业机械-机械工业-产业发展-研究-中国
Ⅳ. ①F121. 3②F426. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 096840 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
责任编辑：朱彩绵　吕　芳
责任校对：丁立立　陈延翔
北京宝昌彩色印刷有限公司印制
2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
170mm × 242mm · 31. 25 印张 · 543 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-42640-4
定价：200. 00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务		网络服务	
社服务中心：	（010）88361066	易览网：	http://www. mepfair. com
销售一部：	（010）68326294	门户网：	http://www. cmpbook. com
销售二部：	（010）88379649	机工官博：	http://weibo. com/cmp1952
读者购书热线：	（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**	

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编 委 会

主　任　路甬祥　全国人大常委会副委员长、中国科学院院士

副主任　苏　波　工业和信息化部副部长

王文斌　中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长

委　员（按姓氏笔画排序）

王仲颖　国家发展和改革委员会能源研究所副所长

石　勇　机械工业信息研究院战略与规划研究所所长

付于武　中国汽车工程学会理事长

刘忠明　郑州机械研究所副总工程师兼研发中心主任

祁　俊　中国工程机械工业协会会长

李树君　中国农业机械化科学研究院院长

李俊峰　国家应对气候变化战略研究和国际合作中心主任

肖立业　中国科学院电工研究所所长

吴　筠　中国机械通用零部件工业协会原理事长

何加群　中国轴承工业协会专务委员

汪　鸣　国家发展和改革委员会综合运输研究所副所长

宋天虎　中国机械工程学会常务副理事长

张进华　中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长

张志英　中国液压气动密封件工业协会原理事长

陆　力　中国水利水电科学研究院水力机电研究所所长

茅仲文　中国工程机械工业协会副秘书长

徐和谊　北京汽车集团有限公司董事长

徐洪泉　中国水利水电科学研究院水力机电研究所总工程师

郭　锐　机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社副社长

盛伯浩　北京机床研究所副总工程师

韩文科　国家发展和改革委员会能源研究所所长

景晓波　工业和信息化部运行监测协调局副巡视员

谢三明　工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长

《中国战略性新兴产业研究与发展·农业机械》

执行编委会

主　编　李树君

副主编　高元恩　方宪法　洪暹国

撰稿人　侯庆忠　王晓蓓　韩鲁佳　焦天民　韩增德　杨炳南
应义斌　赵春江　李晓华　孙仕明　杨　洲　赵　匀
刘贵林　吴德胜　杨延晨　毛恩荣　张小超　李　伟
王书茂　钱一超　尚书旗　李法德　严荷荣　蔡晓华
李　栋　毛文华　刘立晶　吕黄珍　范云涛　李世柱
王世光　吴海华　唐金秋　李少华　柏流芳　王宗甲

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主　任　郭　锐（兼）

副主任　李卫玲

成　员　赵　敏　张珂玲　李　晶

序言

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业发展方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现我国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来 5 ~ 10 年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业

群落。战略性新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业的结构调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书第一期包括 12 个分册，对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是**绿色**。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论是产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，资源的利用效率与环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是**智能**。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是**全球制造**。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、日本、欧洲国家等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未

来的制造必然是全球化制造、网络化制造。

四是**满足个性化需求与为更多人分享相结合**。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既能满足中高端个性化的需求，同时又能满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是**可持续**。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就应该考虑到生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是**增值服务**。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现出“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现**科学性**。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴产业的总体战略服务，又不应受到行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足

于全局。各分册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现**前瞻性**。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单地网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现**指导性**。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现**基础性**。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨——不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有 60 年历史的专业性综合型出版机构，改革

开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！

是为序。

2012 年 2 月 6 日于北京

前言

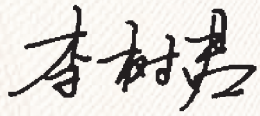
农业机械是农业高新技术和现代农艺技术实施的载体，是实现农业生产机械化、规模化和标准化，提高土地产出率、劳动生产率、资源利用率的物质基础。农机制造业作为我国战略性新兴产业——高端装备制造业的重要组成部分，得到了党和国家政府的高度重视。

农业机械行业已在国民经济社会发展中具有了战略性基础支撑作用。21 世纪以来，在国家强农、惠农、富农政策的支持下，我国农机工业持续快速稳定增长，2012 年，我国规模以上（产值 2 000 万元以上）农机企业工业总产值达到 3 115 亿元，实现连续 10 年平均增幅超过 25%，已成为世界第一农机制造大国。农机装备技术和产业的快速发展，支撑了我国农业机械化由初级阶段跨入中级加速发展阶段，创造了一条中国特色的农业机械化道路，成为延长农业产业链、拓展农民增收空间、开辟农民就业新途径的重要产业，为新农村建设和城镇化发展作出了积极贡献。尽管发展成效显著，但是，长期以来，我国农机行业原始创新能力弱化、高端技术产品匮乏、整体竞争力不强等问题突出，大功率拖拉机、大型联合收割机等高端农机具完全依赖进口，国家粮食生产安全存在巨大隐患。与此同时，跨国企业凭借技术、资本和品牌优势纷纷抢占我国市场，国产著名品牌逐步被蚕食，值得我们警醒。

发展以信息化与智能化为引领的高端农机装备是应对国际竞争、振兴装备制造业的国家战略决策，是农机行业未来发展的必然方向。新时期，我国正处于社会转型和产业升级的关键时期，国家统筹“四化”发展，农业和农村发展面临新的历史机遇和挑战，对农业装备制造业的发展提出了更高要求。未来几年，农机产品类别的多元化发展和产品更新换代速度的加快，对农机产品功能、性能、质量和关键零部件产业的发展提出了更高要求。从我国的经济实力和财政能力、国民经济和社会发展的客观要求，以及农业机械行业自身发展规律看，促进我国农业机械产业实现跨越发展的社会氛围、经济条件、技术基

础、人才能力和有效机制等已经基本具备，时机成熟，我国农机工业进入了加速发展的重要战略机遇期。

适应未来发展和国际竞争的需要，抓住国家加快培育和发展战略性新兴产业的历史机遇，加快发展我国农机装备制造业，必须具有全球视野和全局意识，围绕农机制造业全产业链进行统筹布局，着重以具有前瞻性和急迫性的产业共性关键技术与重大产品开发为突破口，聚集国际国内优势资源，以产业技术创新能力建设为重要手段，着力提高农机工业创新能力和制造水平，优化行业结构，实现由农机生产大国向农机制造业强国的转变，实现农机由“中国制造”向“中国创造”的转变。



2012 年 10 月 8 日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来 5 ~ 10 年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期出版的分册包括太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会路甬祥副委员长担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出了“六个特点”和“四性”的具体要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范

和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2012 年 6 月

目录 CONTENTS

序言

前言

编写说明

第 1 篇　行业综合 …… 1

第 1 章　引言 …… 2

第 2 章　农业机械的地位与作用 …… 6

第 3 章　国外农机产业发展现状与趋势 …… 12

第 4 章　我国农机产业发展现状与趋势 …… 30

第 5 章　我国农机产业发展战略与规划 …… 42

第 2 篇　产品专题 …… 65

第 6 章　大功率拖拉机 …… 66

第 7 章　收获机械 …… 96

第 8 章　田间作业机具 …… 144

第 9 章　精量植保机械 …… 186

第 10 章　节水灌溉机械 …… 216

第 11 章　育种机械 …… 247

第 12 章　农产品产地商品化加工机械 …… 271

第 3 篇　先进制造技术 …… 339

第 13 章　先进制造技术概述 …… 340

第 14 章　先进制造技术发展现状与趋势 …… 349

第 15 章　我国农机制造业发展现状与趋势 …… 398

第 16 章　我国农机先进制造技术产业发展战略 …… 409

第 4 篇　国际化发展 …… 421

第 17 章　我国农机产业的国际化 …… 422
第 18 章　发达国家支持农机国际化发展的政策经验 …… 426
第 19 章　著名跨国农机企业发展的策略分析 …… 437
第 20 章　我国农机企业国际化发展的机遇和挑战 …… 453
第 21 章　我国农机行业国际化发展的战略选择、对策措施和政策建议 …… 462

参考文献 …… 471

第1篇

行业综合

第1章 引 言

农业机械是指在作物种植业和畜牧业生产过程中，以及农、畜产品初加工和处理过程中所使用的各种机械的统称，主要包括农用动力机械、农田建设机械、土壤耕作机械、种植和施肥机械、植物保护机械、农田排灌机械、作物收获机械、农产品加工机械、畜牧业机械和农业运输机械等，广义的农业机械还包括林业机械、渔业机械和蚕桑、养蜂、食用菌类培植等农村副业生产机械。由于作业对象和作业环境的复杂性、多样性和多变性，决定了农业机械绿色、智能、精准和高效的发展方向，属于高端制造的重要门类。

农业机械作为提高农业生产效率、保障资源充分与有效利用、实现环境友好和可持续发展的农业生产必备工具，是农业生产发展的重要物质基础，是现代农业技术集成应用和生产方式变革的载体，是现代农业实现优质高产、环保低耗、安全高效的重要依托，农业机械化也成为了农业现代化的重要标志。在我国这样一个人口众多的农业大国，农机工业和农业机械化事业关乎农业增效、农民增收、农村发展和社会和谐稳定发展的大局，在国民经济社会发展中具有举足轻重的战略地位。

国家各级政府高度重视我国农机工业和农业机械化的发展。新中国成立 60 多年来，特别是进入 21 世纪，在国家系列强农惠农富农、科技创新政策的支持下，农业机械的技术得到进一步提升，科技创新体系进一步完善，产业规模不断扩大并保持稳步快速发展态势，主要总量指标已经位于世界前列，成为世界农机第一使用和第二制造大国。2000 年、2005 年、2010 年 500 万元以上规模企业农机工业总产值分别为 500 亿元、1 000 亿元和 2 838 亿元，增长了 4.7 倍，连续 10 年平均增长幅度超过 21%。2012 年 2 000 万元以上规模企业总产值达到 3 115 亿元，同比增长 19.41%。农机工业的壮大支撑我国农机化水平跨入中级加速发展阶段，2010 年，全国主要农作物耕种收综合机械化水平首次突破 50%，达到 52.5%，标志着我国首次实现了主要农作物田间生产由机械作业替代人工的历史跨越。2011、2012 年均保持高位增长，2012 年达到 57%，为我国粮食总产量连

续 9 年增产作出了不可替代的贡献。农机工业的快速发展和农业机械化事业的全面推进，促生了中国特色农业机械作业服务业，2012 年全国农机作业服务组织超过 17 万个，从业人员 4 000 余万人，经营收入达到 4 800 亿元，大幅提高了农民收入。农机工业已成为拉动内需、促进就业、带动农民致富的重要战略性产业。

尽管我国农机工业和农业机械化发展成效显著，但是与产业持续创新能力和实现农业现代化的要求相比，还存在一定的不适应。从装备功率总量上来看，虽然我国农业机械总动力持续增长，2012 年迈上 10 亿 kW 台阶，但装备结构还不合理，“三多三少”的问题依然比较突出，动力机械较多、配套农具少，小型机具多、大中型机具少，低档次多、高性能少。从产业和产品结构来看，我国是农业机械制造和使用大国，但并不是强国。发达国家 20 世纪 60 年代前后实现了农业机械化，农业机械品种超过 65 大类 7 000 多种，而我国产品品种只有 14 大类 3 000余种，仅为发达国家的 1/2，且主要集中在三大粮食作物的田间作业上。不仅缺门少类，而且功能单一，在保障农业生产方面仍有 3 500 余种核心技术产品需要开发，农业标准化、集约化、产业化经营需要的高效、大型、多功能、智能装备，以及以信息化技术为先导的数字精准装备与设施、具有地域和国际竞争优势的特种经济类作物技术装备和适应国情特点的丘陵山地专用机械等大量短缺。从技术发展水平上来看，现用主要产品的技术经济性能、产品可靠性等与发达国家同类产品仍有较大差距，尤其在自动化、智能化技术方面差距更大。高端和大型复杂农机完全依赖进口，产品核心技术仍掌握在国外公司手中，垄断价格居高不下，增加了农业生产综合成本，农民买不起、用不起。从企业组成形态来看，农业机械企业规模小、生产集中度低，专业化制造能力不强。现有 2 000 万元以上规模企业近 2 000 家，而行业总产值仅相当于两个美国约翰迪尔公司（John Deere），研发经费不足销售收入的 1%，严重制约了自主创新能力的快速提升，阻碍了我国农业机械产业和农业机械化的持续健康发展，满足不了多功能、多层次、多方位、高效益现代农业纵深发展的需要。

国际经验表明，人均 GDP 在 1 000 ~ 3 000 美元阶段，农业机械制造业进入快速发展时期，品种快速增加，技术目标由以作业效率为基点转变为以提高农业投入物资源利用水平和环境友好为核心；产品技术迅猛发展，进入单一品种的大批量生产模式向小批量、多品种、柔性化、自动化转变的发展阶段。当前，我国人均 GDP 已跨过 3 000 美元台阶，2012 年达到 6 100 美元，进入了统筹城乡一体

化发展的重要历史阶段，正处于加快改造传统农业、走中国特色农业现代化道路的关键时期，是推动我国农业机械技术创新、产业升级的最好历史机遇期，加速发展农业机械是历史的必然和战略需求。新形势下，土地流转集中、农业产业化适度规模经营成为不可逆转的大趋势，多功能、智能化、经济型和节能环保成为农业机械技术发展的必然要求和未来趋势。

党的十七届三中全会指出“农业发展的根本出路在科技进步”，明确了我国“农业规模化、精准化、设施化”等要求，提出了“加快开发多功能、智能化、经济型农业机械设施”和“发展现代农业，必须按照高产、优质、高效、生态、安全的要求，加快转变农业发展方式，推进农业科技进步和创新”的农业发展方向。现代农业是向农业大量输入机械、化肥、燃料、电力等各种形式的工业辅助能，用现代科技武装，以现代管理理论和方法经营，生产效率达到现代先进水平的农业。在实施现代农业的过程中，农业机械化作为现代农业的重要标志，已经充当了科技兴农的重要载体。国外农业现代化的实践经验表明：只有实现农业机械化，才能实现农业现代化，才能建设现代农业。现代科学技术在农业生产中的应用，先进的农业工艺、农业生产技术的大面积实施和推广，以及农业科技成果的转化，都必须通过先进的农业机械来实现；作为现代农业主要发展方向的精细农业技术的实现，更是离不开智能农业机械。

我国农业机械工业发展空间巨大。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中把建设现代农业作为优先领域，针对农业机械制造业将发展“多功能农业机械与设施”和“数字化和智能化设计制造”作为优先主题，并明确提出了其研究的重点，同时在其他领域中也明确提出相应涉及农业机械的重点内容。国务院《关于加快振兴装备制造业的若干意见》（国发［2006］8 号）中提出“以国家新增千亿斤粮食工程为依托，大力发展大功率拖拉机及配套农机具、节能环保中型拖拉机等耕作机械，通用型谷物联合收割机、新型半喂入式水稻联合收割机、高效玉米联合收割机、自走式采棉机等收获机械，免耕播种机，节水型喷灌设备等”。《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》（国发［2010］22 号）也明确提出了“加大农机制造企业技术改造力度，改善企业研发和生产条件，应用精密成型、智能数控等先进加工装备和柔性制造、敏捷制造等先进制造技术，提高农机制造工艺及装备水平”和“加快新技术、新工艺、新设备和新材料应用，提高关键零部件加工精度，提升农机产品质量”的农业机械制造业具体发展要求。《农机工业发展规划（2011—2015

年)》提出了“加大农机企业技术改造力度，改善企业研发和生产条件，应用精密成型、智能数控等先进加工装备和柔性制造、敏捷制造等先进制造技术，提高农机制造工艺及工装水平”的“十二五”农机工业发展主要任务。《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》指出“强化基础配套能力，积极发展以数字化、柔性化及系统集成技术为核心的智能制造装备”。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出“加快推进农业机械化，促进农机农艺融合，耕种收综合机械化水平达到60%左右。”因此，发展农业机械制造业已成为事关我国农业生产规模化、标准化、社会主义新农村建设和全面建设小康社会的重大战略方向。

如何积极、科学、前瞻性地布局农业机械产业的发展，不仅关系着国家的竞争力，更关系着中国区域经济的发展潜力；同时，面对当前全球经济一体化深入发展，国际经济形势不确定性加剧，国际竞争异常激烈的宏观背景，还要求我们必须具有全球视野，要对国际先进技术和当前发达国家的战略部署有清醒的认识，更要对新的经济形势下农业机械范围内产业链的新形态、新模式有更准确的把握，从战略的高度为我国农业机械产业未来发展提供具有现实性和可操作性的指导建议。编制《中国战略性新兴产业研究与发展·农业机械》，通过深入分析国内外行业发展，结合先进技术和国家需求提出行业发展方向，指明行业整体发展目标、地区发展目标、企业发展目标，并对产业结构调整、新兴企业发展走势以及政府和民间资本进入提出导向性建议，从而帮助社会各界充分认识发展农业机械战略性新兴产业的重要性，吸引其向战略性新兴产业投资，并帮助政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规。

第 2 章　农业机械的地位与作用

农业机械作为农业生产劳动工具，是现代农艺技术实施的载体，是先进生产力的代表，改变了农业生产环境和条件，突破了人、畜力所不能承担的规模、效率的限制，实现了人工所不能达到的现代农艺发展要求，提高了农业土地产出率、劳动生产率、资源利用率，从而提高了农业综合生产能力。农业机械的发展和应用，是实现农业生产机械化、规模化和标准化，衡量农业现代化水平的重要标志；是实现农业增效、农民增收、劳动解放、农村经济社会发展和建设社会主义新农村、加快实现小康社会的重要内容和必然要求。

2.1　农业机械是推动农业现代化的物质基础

农业机械是农业机械化的物质基础与保障，它推动了农业生产规模化、标准化、专业化、产业化与高效化，成为提高农业综合生产能力的重要手段。现代农业要用现代物质条件装备农业，通过装备科学技术引领现代农业发展理念转变，建立现代农业产业体系，改造传统农业生产方式，推进现代农业经营形式的实现，培养新型农民。通过农业装备的应用提高农业水利化、机械化和信息化水平，提高土地产出率、资源利用率、劳动生产率和农产品商品率，提高农业素质、效益和竞争力。

国际发展经验已经表明，农业机械作为向农业引入先进生产工具、先进农业技术和推动农业生产组织方式变革的积极因素，已使发达国家的农业生产技术方式在机械化、电气化、自动化的基础上，进一步走向信息化、智能化，强有力地推动了农业现代化进程，稳固了经济社会发展的基础。世界农业的原始农业→传统农业→现代农业的发展历程，充分体现出了农业机械技术创新是农业持续发展的根本动力。

现代农业靠科技，科技应用靠农机。建设现代农业是中国农业发展的必由之路，是实现社会主义新农村、构建和谐社会的首要任务。农业机械在我国农业生产中发挥着巨大的支撑保障作用。强大的农业机械技术，既是农业现代化的前

提，也是农业现代化的标志。

2.2 农业机械是传统农业技术革新的必备载体

农业机械是提高农业劳动生产率所必需的不可取代的主要手段。只有大量运用农业机械，才能提高农业劳动生产率，使农民人均产出更多更优的农产品。

全球前 20 位农业大国对世界经济有举足轻重的影响，其人口、可耕地约占世界的 66%，谷物产量、国民生产总值约占世界的 81% 以上，国民生产总值世界排名前 11 名都集中在这 20 个国家中。其中，北美洲和欧洲的主要国家及大洋洲的澳大利亚，20 世纪都实现了农业机械化。农业就业人员多占全社会从业人员的 2% ~8%，农业增加值占国内生产总值的 2% ~5%，平均每个农业劳动者生产的谷物在 2 万 ~10 万 kg，创造的农业增加值在 2 万 ~4 万美元，城市化率多在 70% 以上；农业劳动生产率高，农民收入和生活水平也较高，工农差别、城乡差别缩小。它们不仅是农业大国，也是农业强国。

中国作为世界上人口最多的农业大国，拥有最悠久的农耕文明历史和古老的农耕发明与文化，是精耕细作农业生产技术的发源地。然而近现代以来，我国农业生产技术水平已逐步被欧美发达国家赶超，差距甚至有进一步加大的趋势。究其原因，除了受自然条件、农业科技水平的制约之外，与农业生产工具——农业机械技术和生产水平的低下、农业机械化的滞后不无关系，这不仅影响了农业的发展，也成为了整个社会发展的制约因素。“农业的根本出路在于机械化”，这一著名论断，充分表明了农业机械对于现代农业发展不可替代的重要支撑作用。我国农业劳动生产率水平低下，影响了农业和农村经济的发展，要从根本上改变这一状况，就必须依靠具有技术承载、能提高工效的农业机械。

2.3 农业机械是农村产业结构升级的重要支撑

新形势下，农业生产形式发生了重大变革，统筹城乡一体化快速发展，土地流转集中、发展规模化经营、农村青壮年劳动力大量转移，农村从事农业生产的农村劳动力结构发生了深刻变化。农业劳动力老龄化、低文化、女性化特征明显，农业劳动力结构性、季节性、区域性短缺的矛盾突出，对农业生产特别是粮食生产造成了深刻而长远的不利影响，一些地方由于缺乏劳动力，复种指数降低，种植方式、田间管理粗放，甚至出现撂荒现象。在人口刚性增长、恶劣极端气候变化与灾害频发的形势下，农业机械肩负着保障农产品总量增长与

质量提升所需的规模化生产带来的单位劳动力负担面积扩大和农业劳动力短缺必须提高生产效率、土地产出率、资源利用率和抗击灾害与降低风险能力的多重重任。

与此同时，农村就业结构调整远远落后于产业结构的调整，也不能满足社会经济发展的需要。我国是一个具有 9 亿农民的农业大国，拥有 4.69 亿农村劳动力，其中农业劳动力为 3.48 亿，占全国劳动力的 50% 左右。而全国农户户均耕地仅 0.5hm^2，中东部农业较发达地区农户户均耕地不足 0.3hm^2。庞大的劳动力队伍所从事的农业总产值仅仅占国民经济总产值的 15.4%。按现有农业生产力水平计算，农业生产只需要劳动力 2 亿 ~2.2 亿，仍有 1.2 亿 ~1.4 亿剩余劳动力需要转移，创造更大的财富。因此，必须在加快产业结构调整的同时，加快农村剩余劳动力的非农转移，这是解决农业持续发展综合能力弱、农民收入持续增长低、农村社会经济发展慢的一个焦点，也是解决当前“三农”问题的有效途径。

转移剩余农业劳动力，必须正视我国人口、耕地和就业的巨大压力和矛盾，关键是农业机械在农业生产中的运用。农业机械的发展为城镇化建设、大量解放和转移安置农业人口提供了可能。农机服务组织运用农业机械为农民提供专业化服务成为提升农业人均效率、增加农民收入的必由之路，农业机械为发展农产品加工业服务，促进了转化增值。2012 年全国农机作业服务组织超过 17 万个，据不完全统计，从业人员有 4 000 万人，经营服务收入达到 4 800 亿元。农业机械制造业本身就是技术和劳动密集型相结合、辐射面宽、拉动作用强的产业，其地理分布多接近市郊农村，能够吸纳部分社会剩余劳动力。截至 2012 年年底，农机工业 2 000 万元以上规模企业近 2 000 家，产值 3 115 亿元，吸纳就业人员 35 万多人，农机维修等相关服务吸纳就业超过 50 万人。

谁来种地，应当是有知识、懂技术、会用农机的高素质农民；怎样种地，应当是依托于机械标准作业、农艺技术与机械技术融合的、高效规模化科学种田。这种论断已经成为不争的事实，先进国家的农业发展历程已经证明，我国农业、农村发展现状已经显现。农业机械制造业、农机作业服务业的发展，极大地提升了农村的整体文化素质，有效地培养了新型农民，他们将成为中国农业现代化的主力军。

2.4 农业机械是提升农业综合生产能力的有效工具

在具有流程复杂性、对象多样性、工况多变性的作业环节，最能体现装备技

术的优势，也最需要多用途多功能复合技术。大型拖拉机作业机具系统，将以多用途多功能复合作业技术，支撑先进农艺技术的实施。191.1～264.6kW 级拖拉机配套农具在联合种床整备中，可实现“最少耕作”“保护性耕作”；精密播种机械具备多规格种子自适应、种子无损伤、单粒精播、高速作业能力，作业燃油能耗也将由 117.6～147kW 级拖拉机的 0.8kg/亩（1 亩 = 666.7m^2）降低到 0.6kg/亩水平，节能潜力十分明显，意义亦十分重大。另外，191.1～264.6kW 大型拖拉机比中小功率拖拉机能耗低 20%～40%，同时配备大型作业属具，可减少进地次数，综合省油节能效益显著；精密播种机械的推广应用，每亩节省小麦良种 3～5kg，减少化肥损失，化肥利用率提高 25.9%，粮食产量增幅 6.7%～26.8%；油菜收获需割、捆、运、脱、清等多道工序，其中仅人工收割费用就需 40～45 元/亩，而机械联合收获，割、脱、清等环节一次完成，所需费用也只需 35～40 元/亩，且节省人工工序用工量 2 个，按日均人工费用 30 元计，则节约成本 65 元/亩；水稻插秧、播种与收获机械在增加单产的同时，每亩节本增收的综合效益超过 100 元；玉米、油菜等通过联合收获机将秸秆切碎并均匀抛撒还田，可为农田土壤提供大量有机质及其他微量元素，有利于改善土壤结构，同时相当于为下茬作物节省 N、P、K 肥约 25kg/亩，折合节约复合肥料成本 25 元/亩；化肥深施提高利用率 10%～15%，节省化肥 40%；农作物剩余秸秆收集综合利用，相当于再增加农业 50% 的收益。

多年来，由于我国农业机械与应用水平相对较低，粮食和农产品生产质量不高，综合成本居高不下，严重削弱了国际竞争能力。据统计，我国主要粮食作物的生产成本中，人工费用占到 35%～55%，而发达国家不到 10%，我国是发达国家的 4～6 倍；与先进国家精准农业相比，每年多消耗化肥 1 000 多万 t、柴油 180 多万 t、农药原药 22 万 t。这些不仅仅是农业生产资料投入成本的增加，更加严重的是严重影响农产品质量的保障水平和对环境造成巨大伤害。大力发展先进农机装备技术，支撑农业生产规模化和技术应用标准化，促推农艺新技术的实施，充分发挥良种、良田、良法和机械等要素的生产潜力，提高农业水、肥、种、药物资使用效益，不仅是降低农业生产综合成本，更是推进资源节约型、环境友好型农业发展的根本。

2.5 农业机械是实现农业可持续发展的必然要素

发达国家的历史经验证明，农业机械在提高资源利用率，建立环境友好型社

会和促进农业可持续发展的进程中大有可为。与传统农业形成鲜明对照的现代农业是以高度集约化经营、用现代工业和现代物质来装备、依靠现代科学管理的高级生产方式，使农业的各种资源得以综合利用，土地的产出率和人的劳动生产率得到大幅度提高，从而实现由劳动积累向资本积累再到技术积累的根本性转变。

农业自然资源相对短缺已成为我国农业发展的主要制约因素，农业资源利用率低更是制约可持续发展的重要方面。我国总人口占世界的22%，然而支撑农业的耕地、水、草原等关键基本要素占有水平极低。耕地面积只占到世界的9%，人均不到0.093hm^2，是世界人均耕地平均水平的1/3，且高质量耕地少，可开发利用的后备耕地少；我国是世界上13个水资源最贫乏的国家之一，占世界水资源拥有量的6%，人均水资源拥有量仅为世界平均水平的1/4，且时空、区域分布极不均衡，14个省、自治区和直辖市的人均水资源拥有量低于国际公认的1 700m^{3}用水紧张警戒线；我国天然草原3.93亿hm^2，占国土面积的41.7%，其中可利用草原面积3.31亿hm^2，人均只有0.33hm^2，仅为世界的1/2；支撑农业生产的机械动力燃料、化肥等来源的石油等资源人均水平更低，只占到世界的1/15。突破有限资源约束，保障13亿人口的生活与生存质量，农业机械的科技推动是不可或缺的关键要素。

农业机械能够极大地提高资源利用率，推动农业的可持续发展。通过采用节水排灌机械，使水的利用率从40%～42%提高到70%～80%，而国际先进水平达到93%～95%；通过采用先进的施肥机械，使化肥的利用率由30%～40%提高到60%以上；通过采用精准低量施药机械，使农药有效利用率由不足30%提高到50%左右，并可大大地降低农药的残留量；通过装备对土地进行工程化整理，建立高产农田，提高单位面积产出率等，农业机械将发挥最重大、最关键、最根本的作用。

农业机械制造业是装备农业的战略产业。提供节水、节肥、节种、节药、节能，使用新能源，环保，可施行精准农业及保护性耕作等多功能、智能化、经济型装备，为实现持续发展创造条件；提供农畜产品加工成套装备，提高农产品商品率；提供多种不同层次的交通运输工具，改变农村运输面貌，激活鲜活农产品市场，促进农产品的流通，繁荣农村经济，打开富裕之路；提供农田改造、农村基本建设使用的各种型号的工程机械、农田基本建设机械，增强农业综合生产能力。

总之，农业机械在加快我国农业科技进步、加速农业现代化和社会主义新农村建设的进程中作出了巨大贡献，未来更肩负着重要的使命——要在科技成果转化与产业化应用中进一步发挥关键载体作用，要在培养新型农民中进一步发挥核心纽带作用，要在提升农业生产力水平中进一步发挥基础支撑作用，要在创新农业经营体制机制中进一步发挥强大推力作用。

第 3 章　国外农机产业发展现状与趋势

3.1　产业发展状况

3.1.1　全球农机工业发展概况

近年来，随着全球工业化进程快速推进，农产品和农业劳动力价格不断攀升，全球农机工业总体呈现稳定增长态势，工业总产值一直逐年增长。2008 年金融危机发生之前，全球农机工业总产值达 700 亿欧元，同比增长 14.25%，创历史新高。2009 年，受金融危机影响，全球农机工业总产值开始出现下滑，同比下降 11.42%，下降到 620 亿欧元。但由于刚性需求的存在和区域性新兴市场的快速发展，经过 2009 年短暂下滑后，2010 年全球农机工业总产值同比增长 9.6%，达到 680 亿欧元，开始复苏。2011 年全球农机工业总产值实现 17.6% 的增长，达到 800 亿欧元。（图 3-1）。这其中，中国、巴西和印度等区域性新兴市场贡献最大，而欧美等农业机械发达国家基本保持更新换代的稳定发展态势。

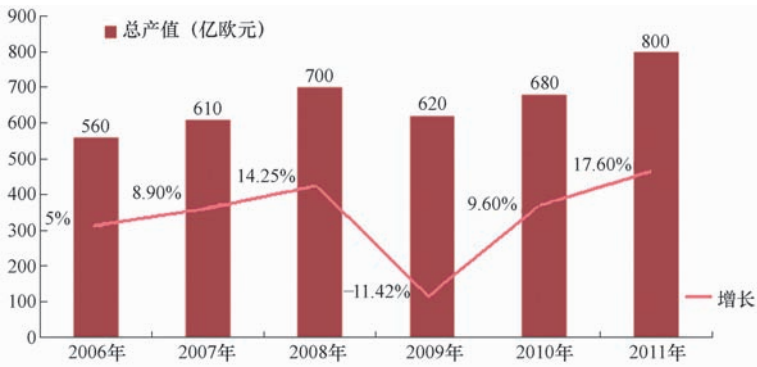


图 3-1　全球农机工业总产值走势

走出低谷稳步发展。初步统计，2012 年全球农机工业总产值预计将实现 7% 左右的增长，达到 860 亿欧元。欧盟农机工业总产值预计达到 252 亿欧元，同比增长 4%。其中德国预计能实现 7% 的增长，达到 75 亿欧元。另一个农机生产大

国日本的情况也基本相同，2009 年农机工业总产值达到低谷后，2010 年保持平稳状态，2011 年有 4% 的增长，拉动其增长的多来自出口，仅在中国设立独资、合资企业就有 18 家。

发展空间不断拓展。分析全球农机市场和农机工业的形势，促使全球农机工业走出低谷踏上复苏道路的另一个最重要的原因就是农产品价格的上涨。联合国粮农组织（FAO）报告称，2011 年世界上主要农产品价格同比增长 87%，包括牛奶、谷物和肉类等价格飞涨，导致农民开始加大农业投入，间接拉动了农机产品的需求。另外一个拓展农机发展空间的原因是，经历了日本地震和核电站爆炸后，以日本、德国为代表的国家停止发展和使用核电，生物质等新型清洁能源产业启动，带动农机领域的生物质装备得到发展。

3.1.2 国际农机贸易形势

全球贸易活跃。2008 年国际金融危机后，国际农机贸易出现大幅下滑，2009 年达 290 亿欧元，比 2008 年的 380 亿欧元下滑了 24%，但是从 2010 年开始复苏，年增长了 12%，总贸易额达到 325 亿欧元，2011 年增长 23%，达到 400 亿欧元，已经超过 2008 年的最高水平。2006 年以来国际农机贸易量及变化情况如图 3-2 所示。

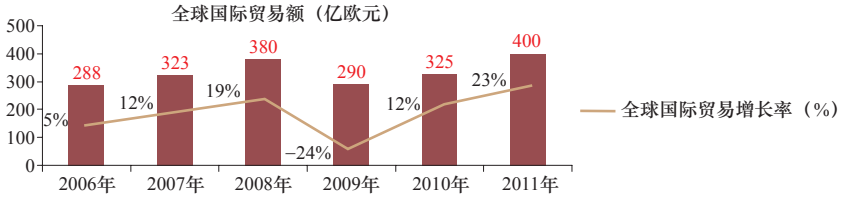


图 3-2 2006 年以来国际农机贸易量及变化情况

传统市场贸易稳健，新兴区域拉动增长。从主要地区的主要农机产品看，近年来北美、西欧、亚洲等主要拖拉机市场都出现了 40% 以上的销售增长，其中土耳其 2011 年上半年同比增长了 143%，加拿大增长了 96.8%，德国增长了 43.7%，法国增长了 41.6%。俄罗斯近年来一直是世界农机进口大国，预计未来几年将出现 40% ~50% 的增长。美国农机市场受金融危机的影响不大，并未出现销售大幅下滑的情况，2011 年全年拖拉机销售额增长 10%。农业大国印度可耕地面积占国土面积的 47%，农机化水平较低，仅 30%，对中型拖拉机需求旺盛，2011 年增幅超过 30%，市场前景广阔。

3.2 农机企业竞争格局

近十几年来，随着国际农机市场的竞争日益加剧，国际农机企业的集中度大为提高，曾经在行业中如灿烂群星交相辉映的国外知名农机品牌，大多已归入到几个大型跨国集团公司的麾下。目前世界最著名的三大跨国农机企业集团，约翰迪尔、凯斯纽荷兰（CNH）和爱科（AGCO）通过不断地兼并、联合、重组使其逐步发展壮大；德国克拉斯（Claas）公司、意大利阿尔戈（Argo）以及赛迈道依茨-法尔（Same Deutz-Fahr）公司等通过核心业务的联合重组也保持了核心竞争优势，成为世界领先企业；日本久保田公司、井关公司和洋马公司，韩国大同公司和国际公司，白俄罗斯的农机公司等企业坚持立足本土优势，在专业化公司领域保持了核心优势，成为历久弥新的国际知名企业。

目前，国外著名的农机企业及其销售收入主要有：年销售收入在百亿美元的约翰迪尔公司和凯斯纽荷兰公司，年销售收入在几十亿美元的爱科公司、久保田公司和克拉斯公司，年销售收入在几亿美元的赛迈道依茨-法尔公司、库恩公司、格兰公司，以及日本、韩国、俄罗斯、印度等国的其他农机企业。主要跨国农机企业集团的产品经营范围见表 3-1。

表 3-1 主要跨国农机企业集团的产品经营范围

产品种类	约翰迪尔	凯斯纽荷兰	爱科	克拉斯	赛迈道依茨-法尔	久保田
拖拉机	√	√	√	√	√	√
联合收割机	√	√	√	√	√	√
精准农业技术		√		√		
农业生产管理系统	√					
耕作机械	√		√			√
播种机	√		√			
植保机械	√	√	√			√
牧草机械	√	√	√	√		
青饲收获机	√	√	√	√		
插秧机						√
采棉机	√			√		
甘蔗收割机	√			√		
配套农具	√	√	√		√	
柴油机	√	√	√		√	√

（续）

产品种类	约翰迪尔	凯斯纽荷兰	爱科	克拉斯	赛迈道依茨-法尔	久保田
工程机械及零配件	√	√	√	√		√
农用运输机械				√		
物料处理机	√					
汽车及航天				√		√
电子设备						√
自动售货机						√
剪辑桌					√	

注：资料来源为各公司年报。

这些大型跨国企业集团的特点：一是市场占有率高，拖拉机市场占有率达66%，联合收割机市场占有率在80%以上；二是农机产品涵盖面广（表3-1）；三是销售收入高，国际上规模最大的农机集团约翰迪尔公司2010年的总销售收入达到280亿美元，相当于我国规模以上农机企业工业总产值的半壁江山；四是科研投入比例大，且逐年递增；五是建立了全球化的销售网络和生产基地，且在具有标志性的拖拉机和联合收割机方面以及田间作业的播种、牧草收获、植保等专用装备方面瞄准全球化市场；六是先进制造技术广泛应用，数字化设计、数控化制造、在线检测、信息控制等全面提升了装备的智能水平。

3.3 国外农业机械产业技术发展现状与趋势

发达国家的农机产品经过两个多世纪的发展，不仅品种覆盖面广，而且质量精良，技术水平越来越高，从根本上改变了人类农业生产方式。农机技术不断融合现代液压、仪器与控制、现代微电子和信息等高新技术，并向着大型化、高效率、多功能、复式联合作业，信息化、智能化方向快速发展，广泛采用先进设计制造手段，并注重节能与环保。

走向大型化和高效化。欧美等地区的发达国家追求规模效益，带动农业机械进一步向大功率、大型化和高效化方向发展。在拖拉机方面，最大功率和最高行驶速度继续提高。约翰迪尔公司的JD9620轮式拖拉机（图3-3）与JD9620橡胶履带拖拉机（图3-4）功率均达到373kW，轮式拖拉机最高行驶速度达到68km/h，最显著的进步是田间作业速度一般都达到14km/h以上。在收获机械方面，谷物联合收割机配套功率大多在110.25kW以上，配置的割台幅宽在4m以上，最大可以达到10m，最大喂入量达到10kg/s，宽幅收获，满足大规模农田的

高效机械化收获作业，充分体现了机械的作业效率。

图 3-3　约翰迪尔公司的 JD9620 轮式拖拉机

图 3-4　约翰迪尔公司的 JD9620 橡胶履带拖拉机

走向多用途多功能复合。适应农业多样性，环境多变性，经济多层次性，全方位满足不同用户的个性需求，世界各国都在不断研究新技术、开发新产品，建立以标准化、通用化为基础的产品设计、开发、系列化体系，力求产品的多功能、多品种、多型号生产和零部件的通用、互换。推动这一发展的因素，首先是液压技术的发展，通过对液压系统的合理设计，使得工作装置能够完成空间多位、多种复杂作业功能；其次是快速可更换连接装置的诞生，安装在工作装置上的液压快速可更换连接器，能够在作业现场完成各种附属作业装置的快捷装卸；还有液压软管的自动连接，使得更换附属作业装置的操作可在驾驶室通过操纵手柄快速完成。产品多用途、多功能复合成为在标准化、通用化基础上产品制造应对市场需求小批量、多品种、多功能趋势，实现产品功能结构用户定制、生产过程柔性选装的必然选择，并正在从企业竞争的优势技术转变为一种企业竞争的必备技术。Miller NITRO4000 系列（图 3-5）和 Hardi Alpha VariTrack 系列机型应用多功能高地隙自走式动力平台实现一机多用，搭载着中耕、施肥、施药、收获等作业部件。

图 3-5　MillerNITRO 4000 系列多功能高地隙自走式动力平台底盘与作业机械

走向复式和联合作业。复式作业将几道工序合并到一种机具上，通过一次作业完成，以充分利用功率，减少油耗，节约劳动时间，减少对土壤的压实。过去常见的是旋耕、施肥、播种一体的复式作业机具。现在的新发展：一是适应保护性耕作的要求，生产出免耕深松、灭茬、施肥、播种一次完成的机具；二是兼顾气吸（吹）式精密播种、施肥等高性能作业机具的要求，将多种高性能机具前后挂接，进行联合作业。如约翰迪尔公司系列气力式精密播种机（图 3-6），采用大直面圆盘或波纹圆盘开沟、施肥、播种、镇压一体化作业；采用气流输送与分配技术，实现大功率播种机具的肥料、种子多通道均匀分配，克服机械分配难以实现高效宽幅的难点；采用卫星定位系统、地理信息系统、专家智能系统和遥感技术、作业质量检测技术相融合的高新技术，可根据地力变化实施播种，并提高作业质量。

图 3-6　约翰迪尔气力式精密播种机

实现各生产环节全面机械化和多样化。随着农业生产现代化的发展，农业生产各环节和不同作物都要实现机械化，所需要的装备品种数量大为增加。如：水稻的全程机械化需要水田耕整、育秧、插秧、田管、收获、干燥、储存、运输等机械来保证；牧草机械从种子的收获、耕整播到收割、翻晒、捡拾、压捆、装卸、运输、烘干需要成套的装备来实现。不同的粮食作物、经济作物、果蔬作物、牧草作物等，都需要不同的装备去实现机械化。农业机械的多样化满足不同作物从种子加工、苗床整备、播种、田间管理、收获、产后加工、秸秆综合利用的全过程的多种需求。约翰迪尔 7760 采棉机实现自动控制的采棉作业，而且配有圆形压实成模系统，实现连续采棉、连续压模成型、缠膜、卸模一体化作业，从收获阶段就为后续运输、轧花加工做好了标准化的准备（图 3-7）；加利福尼亚西红柿收获机械公司生产的大型西红柿收获机（图 3-8），设计生产效率达到 50 ~ 70t/h，相当于 500 人的工作量，实现藤蔓梳理，作物枝叶与果实自动分离，

果实清选与装运，极大提高了采收效益；凯斯 Austoft 履带式甘蔗收获机（图 3-9）实现切顶、剥叶、除杂、粉碎及收集等多工序一体化功能，连续喂入，卸车快捷方便，保持了甘蔗的新鲜度和提高了收获效率，通过信息化机群调度与榨糖环节的匹配衔接，形成了产业链装备体系。

图 3-7　约翰迪尔采棉压模一体化机械

图 3-8　加利福尼亚西红柿收获机械公司的西红柿收获机

图 3-9　凯斯 Austoft 履带式甘蔗收获机

走向控制智能化、操作自动化和作业精细化。随着计算机和电控、信息技术的突飞猛进，农业机械也向高度自动化、智能化方向发展。电子技术应用完成了从监控功能向智能控制的过渡，大型农业机械采用中央处理、总线技术，对农业机械进行智能化控制。田间自动导航系统、机器视觉系统等精准农业机械研究成果已开始应用，实现了农业机械作业的高效率、高质量、低成本，并改善了操作者的舒适性与安全性。激光控制平地技术、全球卫星定位系统（GPS）和产量传

感器的应用，为获得质量较高产品的栽培决策提供依据，精确指导耕种、施肥和植保用药。液压自动折叠宽幅联合整地机如图 3-10 所示。

图 3-10　液压自动折叠宽幅联合整地机

a）工作状态　b）运输状态

广泛采用先进设计与制造手段。发达国家农业机械的生产和制造已经从过去传统的制造方式转向现代制造方法，产品的数字化设计技术、数控加工技术、柔性生产线、各种工业机器人已大量运用于实际生产中；企业已经建立了完整的信息化管理系统，先进的生产管理技术也已都应用到生产实际中；采用现代产品开发技术，注重产品的创新设计，缩短产品的设计周期；可靠性预定寿命技术已应用于产品设计中，立足基础数据，等价设计产品寿命；柔性生产工艺将更适应于批量小、品种多、质量高的要求，生产柔性更大，效率更高；生产过程在线质量检查技术全面应用，确保全程质量，全生命周期的质量要求更普遍。联合收割机数字化设计如图 3-11 所示。大功率柔性制造生产线如图 3-12 所示。

节约成为农业机械发展的主流技术。节能、低排放的拖拉机，保护土壤的保

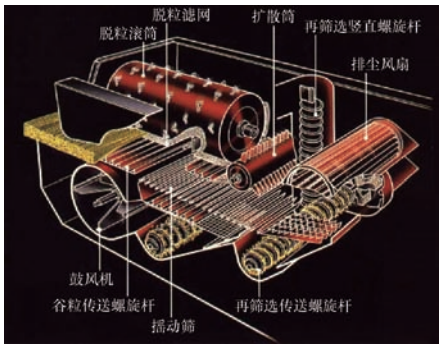


图 3-11　联合收割机数字化设计

图 3-12　大功率柔性制造生产线

护性耕作机械，节水的灌溉机械，节种的精量播种机械，节药、低残留的植保机械等已成为农业机械发展的主流。大型拖拉机和联合收割机配备的柴油机已经达到欧 IV 标准；为了降低大型拖拉机及配套耕作机械对土地的压力，很多拖拉机采用超低压轮胎和橡胶履带；铰式犁全部是液压旋转双向犁，可减少转弯浪费的功率，既减少了空运转时间提高作业效率，又节约了油料降低生产成本；气流输送喷雾机械，使药液更加定向集中、雾滴更细，可以喷射到植株叶面的背面及靶标，提高了防治效果，防止了药液飘散，对飘逸雾粒可以进行回收，减轻了对环境的污染。基于大型拖拉机才能够完成的节本增效联合复式作业、改善土壤环境的深松浅耕联合整地与节约种肥的精密播种施肥等旱作农业保护性耕作技术，实现了土壤质地结构改善、节约环保的生态持续发展功能。

先进制造技术的广泛应用确保了产品的性能与质量。等离子切割、激光切割、数控成形、机器人焊接、高精度加工中心、数控化热处理等保障了零部件的精度和一致性；机器人涂装、全自动表面涂装线、无人化组装生产线、装备过程在线检测、整机性能测试等全方位把好质量关口；现代物流、智能调度、协同制造进一步精细化，降低了资金成本。

3.3.1 拖拉机技术

最大功率和最高行驶速度继续提高，体现高效化。爱科公司的挑战者 MT865 橡胶履带拖拉机的功率提高到 420.74kW，最高速度为 39.9km/h。约翰迪尔公司 JD9620 轮式拖拉机最高行驶速度达到 68km/h。国外大功率轮式拖拉机十分注重新技术的研究及应用，机、电、液控制技术以及环保节能技术得到广泛应用，其关键技术重点体现在以发动机、拖拉机底盘的动力换挡变速箱和负荷传感液压悬挂系统等为应用对象的电子技术的综合应用上，人机工程技术在大功率拖拉机上得到了充分体现。凯斯履带式大功率拖拉机如图 3-13 所示。凯斯轮式大功率拖拉机如图 3-14 所示。

（1）发动机匹配技术　低油耗、低排放和低噪声技术的发展，进一步改进燃烧室并全面采用电子控制喷油系统及转速调节器的直喷柴油机已成为配套动力的主流。涡轮增压和中冷技术的应用也更为普遍，恒功率发动机已在大功率机型上采用。发动机恒速控制系统（Constant Engine Speed）使拖拉机在整地、播种等负载条件下自动换挡、加速或倒挡，在极端工况下，发动机保持较低的恒定转速，转矩增幅达到 35% ~40%，功率增幅达到 22.06 ~36.77kW（30 ~50 马

力），提高了设备使用性能，同时节省了燃油。

图 3-13　凯斯履带式大功率拖拉机

图 3-14　凯斯轮式大功率拖拉机

（2）负载换挡变速箱与自动变速箱技术　国外以变速箱为核心的传动系已经跨越了有级式机械传动系阶段，配置负载换挡机械传动系和无级变速液压传动系（图 3-15）。负载换挡（也可称为动力换挡）变速箱由于换挡操作简单且动力不中断，改善了拖拉机的操纵性，提高了工作效率，同时它和现代电子控制技术相结合，可以实现自动换挡等诸多功能，根据其负载换挡挡位数的多少可分为以下几种：两挡负载换挡、三挡负载换挡、多挡负载换挡、部分负载换挡与全负载换挡。在现代国外大功率拖拉机上广泛应用的是部分负载换挡与全负载换挡。自动变速箱可以根据拖拉机作业状态自动地进行变速。按所采取的传动形式不同，主要分为液力机械变速箱、静液压变速箱和液压机械无级变速箱。液力机械变速箱在拖拉机上应用并不广泛，仅有少数机型采用。静液压变速箱主要应用在中、小型拖拉机上。液压机械无级变速箱综合了液压和机械传动的优点，从 20 世纪 90 年代开始在国外高端大功率拖拉机上应用。

（3）CAN BUS 总线控制技术　其技术应用已扩展至包括变速箱、差速锁、前后桥、动力输出轴在内的整个传动链、液压悬挂调节系统、机载计算机系统，以及性能监测、显示与数据处理系统。控制方式从模拟信号控制向全数字化控制转变，实现对发动机、传动系、液压系等子系统以及所驱动和拖动的作业机具工况性能的集成化监测与控制的产品也已上市。如凯斯纽荷兰 Winner 系列的 Check-Panel 电子系统、约翰迪尔的 Intellitrak 电子仪表系统、凯斯纽荷兰 8000 系列的电子信息系统、赛迈道依茨-法尔 Agrotronic-I 电子驾驶操纵系统、弗格森的 Autotronic 和 Datatronic 系统等。

图 3-15　AutoPower 型无级变速传动系

（4）液压悬挂系统技术　电、液控制的悬挂系统在中、大功率机型上得到普遍应用，除提升和下降位置，提升和下降速度，力、位及综合调节，灵敏度等外，常规功能的控制均采用了旋钮式操作。配备前、后液压悬挂装置的产品越来越多，且普遍采用快速挂接装置。还可通过总线控制技术实现如地头转弯的综合控制及高速行驶机组减振等功能。拖拉机所用液压提升机构的提升能力可达 12 000kg，采用Ⅳ类悬挂装备。对于拖拉机负载传感闭心式液压系统，液压泵流量有两种选择：一种液压泵流量为 166L/min，一种为 227L/min，可满足各种农田作业的液压功率需求。如悬挂宽度大的农机具、前后挂接的农机具进行前后复式作业，以及挂接大容量的自卸翻斗车箱的操纵，可以充分发挥拖拉机的牵引能力，提高作业效率。拖拉机采用相应的地块作业程序自动控制管理，从而提高了作业生产效率。动力输出轴转速的控制和提升器的控制被连在一起，其转速可以自动控制。前桥驱动和差速器的啮合采用电子控制。所装 Hydralock 系统可以同时对前、后差速器进行控制，以保证四个车轮的实际牵引力。

（5）行走与转向系技术　采用半悬浮或全悬浮驱动前后桥及超级电控转向前驱动桥技术和宽面大直径轮胎等零部件来提高功率传递效率、提高驾驶员操作的舒适性和转向灵活性。如卡拉罗（Carraro）的最新产品转向角度可达 70°，主要用于 110.32kW（150 马力）以上机型（图 3-16）。

（6）人机工程技术　驾驶室技术方面，以低噪声、舒适性、清洁性、安全性和方便性为主要标志的人机工程学在驾驶室、座椅及操纵机构件结构技术上获得了长足发展。驾驶室多为四立柱或六立柱整体焊接式结构，与拖拉机的连接处充填或隔以减振降噪材料，内饰采用吸声材料，采用平地板、双开门、无框门

图 3-16　大功率拖拉机配套复式作业机具田间自动转向控制

窗、落地式或大面积曲面染色挡风玻璃，采用多速通风、进气滤清、有内压、有采暖及可选装空调系统。驾驶座椅一般具有减振功能，角度和高度依人自调，转向盘倾角和高低可调，室内驾驶员耳旁噪声已降至 72 ~ 78dB(A)，相当于轿车水平。

（7）智能控制技术　可以说电子控制技术已经贯穿整个作业机组，并与农业生产的全过程相关联，由最初在各部件上实现独立功能向以标准化通信协议为核心的网络化分布式控制技术发展。随着电子及信息技术的迅速发展，微电子和微机技术在国外农业机械上得到了越来越广泛的应用，拖拉机性能监测、显示及数据处理、液压悬挂调节控制、变速箱及传动系控制等方面，出现了越来越多的电子设备和控制系统，使农机产品的功能和性能得到了很大提高。例如拖拉机上的电子控制系统由最初简单的液压悬挂系统电液控制，发展成为发动机控制、动力换挡系统、前驱动桥控制、前后桥差速锁、前后动力输出轴、离合器、电控负荷传感液压系统、农具辅助操纵系统以及无级变速传动系统、主动/半主动悬架系统、轮胎气压自动调节、机器视觉、GPS 及精准农业配套变量投放控制等的集成控制。另外，配备自动导航技术，实现作业行的精确调控与无人驾驶，减轻人的疲劳。

3.3.2　田间耕整装备技术

（1）宽幅技术　铧式犁工作幅宽已达到 9m 以上且可调幅，大型整地机具（圆盘耙、全面耕耘机、整地机等）的工作幅宽已达到 20m 以上。宽幅机具为便于道路行走，多采用机架折叠形式，实现宽幅作业窄幅运输。

（2）高速技术　耕整地作业速度达到 10 ~ 15km/h，播种作业达到 8 ~ 12km/h。

重点是改善了高速作业条件下土壤结构恢复与作业部件的相适性。

（3）功能联合技术　发达国家的联合耕种机械发展迅速，不仅有多种形式部件构成的整体式联合作业机具，也有用“组配”的方式将各自可独立作业的机具按照需要组成联合作业机组，以及采用分组悬挂的方式将不同机具组合，实现联合作业。如翻耕-整地、深松-整地、复式-整地（碎土、平地、镇压）及灭茬-松土-合墒-碎土-镇压等为代表的联合作业等。

（4）机具与动力匹配技术　大型机具多装备有自动挂接、安全保护、电子监控装置及液压调整、控制系统，减少了与拖拉机连接、调整和排除故障等辅助工作的时间，提高了机组的作业效率。

（5）驱动型机具技术　利用拖拉机动力输出的驱动型耕作机具，如驱动耙、振动深松机等，提高了作业功能和质量，充分发挥了拖拉机配套耕作机组的效能。

（6）工况自适应调控技术　应用液压技术调整机具的工作参数，如作业幅宽、深度、部件的偏角和倾角等，以及变换作业与运输状态、控制工作部件的状态和驱动土壤耕作部件等。根据阻力变化，通过电子传感器及液压系统调整机具的作业深度和工作宽度。

3.3.3　播栽装备技术

（1）气力式精量播种技术　重点是适合宽幅、高速作业条件下的气力式精密播种，在仿形限深、堵种漏播、接合行精确定位等方面技术水平越来越高。其主要技术特点与趋势有：①播种速度明显提高，达到 10 ~ 12km/h 甚至以上。②作业行数增多，幅宽增加，最多播种行数已达 36 行、幅宽 28m，普遍采用液压折叠机架。③通过不同工作部件的变换组合，实现了耕整后播种和免耕覆盖播种通用。④采用横向单元自控仿形和平行四杆单体仿形机构及前仿形轮、后镇压轮或双侧橡胶轮限深技术。播种单体上均设计和安装了播深调控装置，可以准确地调节控制，指示播种深度。在排种器投种部位增设后推抛种器（清种刀）或气吹清种装置，保证了投种的可靠性、精确性和播深的一致性，并防止了吸种孔堵塞与漏吸问题。⑤排种器体上普遍装有可视窗口和光电传感系统，监视吸排种情况，确保播种质量。⑥气吸式排种器的壳体、排种盘、吸道密封环、刮种器与清种刀，均采用铝合金或高强度塑料等材料，并采用压铸、模锻等精益成形技术或不同材料耦联技术，不仅确保了排种盘与吸道之间优良的密封性能，同时也提高了耐磨性和使用寿命。⑦设计了结构紧凑、具有吸吹两种功能的风机，并采用

液压独立驱动，显著地提高了气力式播种机的性能和工作可靠性，同时解决了在地头易漏播的问题。⑧采用卫星定位系统、地理信息系统、专家智能系统和遥感技术相融合的应用技术，可根据地力变化实施变量播种（图 3-17）。

a)　　b)

图 3-17　美国大平原公司气力式精量播种机

a）工作状态　b）运输状态

（2）免耕精播施肥联合作业技术　随着保护性耕作技术的发展，发达国家先后提出了“最少耕作”“保护性耕作系统”。在机械设备上，许多国家拥有相对成熟、技术先进、性能可靠的免耕施肥播种机，如美国约翰迪尔、美国大平原、加拿大福莱西-考欧（Flexi-Coil）、澳大利亚约翰·希勒（John Shearer）等著名公司都生产免耕播种机。免耕播种机一般应用大直面圆盘或波纹圆盘切断秸秆开沟、定位施肥、精量播种、脱附镇压（图 3-18 和图 3-19）。

图 3-18　美国约翰迪尔公司 1770NT 系列原茬地免耕播种机

（3）高速移栽技术　包含了旱田移栽和水田移栽两个方面，是一个系统化的成套技术，有与农艺结合的育苗基质标准化技术、秧盘标准化技术、育苗精位播种技术、秧苗生长环境调控技术、全自动田间移栽技术、水稻高速插秧技术

a)　　b)

图 3-19　美国约翰迪尔公司可折叠式箱型原茬地精量播种机

a）工作状态　b）运输状态

等。在水稻高速插秧技术方面以日本、韩国为代表，具有适合不同地块需要的步行式、乘坐式系列产品，能够达到 240 株/min 以上，配备有插深稳定、自动导航等先进装置。在提高单产的旱作物移栽技术方面，突破了功效较低、成本过高的技术制约，已经在人工投苗移栽成熟技术的基础上，实现了自动上苗、自动分苗、机械手投苗、空盘自动码放等全自动化与移栽工况智能检测系统，比人工投苗提高功效 2 ~ 3 倍，减少了移栽的大量辅助人工。在标准化育苗方面，种子涂敷包衣丸化技术可增强种子活力，育苗精密播种技术可保障移栽机械自动化，育苗环境工厂化智能决策控制技术可保证苗齐苗壮等。

3.3.4　田间管理装备技术

田间管理涉及具有生物活性植株的中耕、施肥、培土、深松、除草、施药等重要农事活动，是保障产量和品质的重要环节。机械作业过程覆盖了植株生长的不同时期，要求必须在完成作业的过程中具有良好的通过性、精确性，必须能够实现不同的作业功能，具有多功能性等。国外技术发展以适合不同苗期管理的自走式高地隙或变地隙动力机为平台，搭载中耕、施肥、培土、施药等不同作业属具，实现了这些作业的通用化。可变轮距、地隙全液压自走式底盘技术，更是把多功能性发挥到了极致。轮距适应不同作物种植，行距可调，地隙适应不同作物、不同时期，高度可变，采用搭载作物与杂草生长调控、病虫害密度监测识别与智能决策、肥药施用调控等系统。这种自走式底盘的行走驱动、地隙调整、轮距调整等全部由液压系统控制，其中四轮同步、回转差速、作业过程安全稳定、转向前后轮同辙等问题难度大。目前，欧美发达国家生产和使用的机械以大型机

具为主，特别是最近几年以大型高地隙自走式动力机为平台的机械发展迅猛，产品所占比例越来越大。配置的施药机械幅宽达到48m，在玉米后期施药、去雄等作业时地隙升到2.4m以上。

精少量施药技术。施药是保障农产品产量、质量，保护环境的关键，各国高度重视新技术的应用。精少量施药技术包含了杂草和病虫害识别、作物生长判别与智能决策专家系统，自动配药、对靶施药、静电喷雾、风送式喷雾、喷杆喷雾技术以及航化技术等。研究重点集中在对象识别智能决策指导下的靶标识别、精细雾化、精量喷洒、安全防护、自动导航等高效施用方面。有拖拉机配套机型、适合不同作物苗期的高地隙自走式机型、适合果园的风送弥雾机型、适合高效防治的喷杆式机型，还有适合养殖场防疫的机器人等。

3.3.5 收获装备技术

欧美等地区发达国家的收获机械经过上百年的发展，在全面实现农业机械化之后，收获机械已经转向大型化、高速化和自动化，强调设备田间收获的高效率、高清洁度、低损失率和高可靠性、高经济性。

（1）大喂入量谷物收获技术　割台上，割刀部分可在前伸10cm和后缩20cm之间无级调节，以改善高矮不同作物的喂入性能，并提高生产率。收获油菜籽时，割刀部分可前伸50cm，减少收获时的割台损失。坡地割台仿形技术使得大幅宽状态下的挠性仿形已经实现。割台侧向装置激光发射接收器，以12°发射角和接收角产生激光脉冲，辨别未收谷物和割茬边界。激光发射和接收不受暗景、粉尘、雾气和杂草的干扰，保证割台全幅作业能力优于极富经验的驾驶员，同时减少收割机田间通过次数，提供更精确的面积测量数据。通过道路转场时，为不影响交通运输，采用折叠式割台，有垂直折叠和180°折叠两种，也有专门配套的割台拖车，实现快速转场。凯斯纽荷兰大型谷物联合收割机如图3-20所示。

（2）脱粒分离技术　稻麦收获技术方面，切流脱粒分离与纵轴流脱粒技术普遍使用，其各有相应的适应性与优点。为发挥多功能性特点，脱粒分离清选平台技术趋向于轴流脱粒分选。新一代的代表高喂入量、高清洁率的切流与纵轴流结合的脱粒分选技术已经在收获机械上采用，这种梯度脱粒分离技术使脱粒功率分布更合理，籽粒破碎更小。具体而言，实现相关多种作物通用，拓展设备功能。近年来研究设计出了玉米收获台与油葵等农作物的通用割台，并将秸秆粉碎

图 3-20　凯斯纽荷兰大型谷物联合收割机

功能加载到玉米收获台上。分离清选系统的凹板与滚筒间隙由防堵系统（Anti-blocking System）保持。预设压力保持阀在堵塞时无泄压，并自动恢复预设压力，使驾驶员可在机器额定能力下保持稳定作业，无须担心堵塞。分离部件采用主滚筒前加装加速预脱粒（Accelerated Pre-Separation，APS）滚筒，90% 的分离作业在 APS 滚筒和主滚筒部分完成，且适于青嫩菜籽的分离。对于传统的键筛式收割机，逐稿器上部装有伸缩指式抖草分离系统（Multi-finger Separation System，MSS），易于分离夹带的籽粒，抖草指的伸缩量可根据收获作物调整。在纵向轴流双滚筒收割机上，APS 滚筒和双滚筒结合，由 APS 滚筒后部的分流滚筒将谷物分流成两路，分别进入两个轴流滚筒。轴流滚筒、APS 滚筒和双轴流二次分离系统的组合，在功率配置和总损失率不变的情况下，作业能力相当于两台配置传统脱粒滚筒、六键四阶分离系统的收割机。纵轴流脱粒分选技术的成熟，实现了油菜的打击、揉搓、清选联合收获，但损失率仍居高不下，清洁度亦有待改善，仍需要油菜品种的改良使其更适合机械收获作业。适应单机种植的特点，玉米以籽粒收获为主要方向。

（3）智能化调控技术　这是近年来发展速度最快的技术。其综合应用电、液、气、信息技术，可以针对作物的物理特性、收获时期气候特点等，实现收获机械的自身故障诊断、作业机构自动调整。脱粒等主要工作部件的转速、茎秆切割高度、籽粒损失量、粮箱填充量、排草堵塞、发动机负荷大小及工况等配有检测、显示系统；自动控制装置包括自动对行、割茬高度自动调节、自动控制作业速度、自动停车等装置；安全生产的警报输出和互锁补偿系统有故障警报、信号报警或语音报警、起动互锁、单柄操作互锁、运输与收获互锁等功能；采用 GPS 卫星导航与定位以及谷物产量自动测量和土壤营养处方生成等信息化精准仪器控

制技术装置等；在管理技术方面实现机群自动调度。

（4）专用作物收获技术　包含：甘蓝类、果茄类等不同蔬菜收获、修整联合作业技术；马铃薯、胡萝卜、甜菜等块根块茎类作物的收获实现可控切秧、减阻挖拔、抖土分拣、集装等联合收获；机械采棉方面，不仅包含了采棉指摘棉，更加注重成套体系的配套，摘棉的同时实现棉模成型，减少运棉的成本，可与轧花加工配套；甘蔗收获与榨糖结合，实现榨糖管理体系的机群自动调度，切段式收获成为发展的主流技术；葡萄标准化篱型种植、振动疏脱适合加工型收获的需要；加工型西红柿机械收获、颜色分选联合作业等。

第 4 章　我国农机产业发展现状与趋势

4.1　我国农机产业发展状况

我国农业机械产业经过近半个世纪的发展，逐步建立起了较完备的产业体系，为国家粮食安全和现代农业发展作出了积极贡献。特别是进入 21 世纪以来，我国经济社会稳定，发展迅速，农村城镇化进程加快推进，农村内需市场拉动能力强劲，尤其是受益于国家系列强农惠农富农和科技支持政策的实施，我国农机工业保持了持续增长态势。2010 年农机工业规模企业总产值 2 838 亿元，同比增长 25%，实现了连续 10 年 20% 以上的速度增长，成为机械工业增长最快、最具活力的产业之一，主要总量指标已经位于世界前列，成为世界农机制造大国。按照最新统计口径，2012 年我国规模以上（指产值 2 000 万元以上，下同）农机企业的工业总产值已达 3 115 亿元，同比增长 19.41%。

4.1.1　产业规模不断壮大

我国农机工业企业总数超过 8 000 家，是 2006 年的两倍多。以具有代表性的农机产品——拖拉机和联合收割机为例，生产数量远远超过其他国家，居世界首位。“十一五”期间我国主要农机产品均呈快速增长，特别是大中型拖拉机和自走式联合收割机，产销量逐年高速增长。2010 年，我国大中型拖拉机产量达 34.1 万台，联合收割机达 15.8 万台，小型拖拉机产量达 228.15 万台。2011 年，大中型拖拉机产量共 46 万台，小型拖拉机产量共 237.6 万余台。

同时，我国农机生产企业数及职工人数为世界之最。2012 年规模以上企业 1 908家，规模企业从业职工 35 万多人，总产值 3 115 亿元。农机工业已成为我国机械工业重要的组成部分，形成了一个产业，提供了很多就业岗位，其企业数及职工人数与世界各国相比都是最多的。2006—2012 年我国规模以上企业工业总产值情况如图 4-1 所示。2006—2012 年我国规模以上企业利润总额情况如图 4-2 所示。2006—2012 年我国规模以上企业从业人员情况如图 4-3 所示。

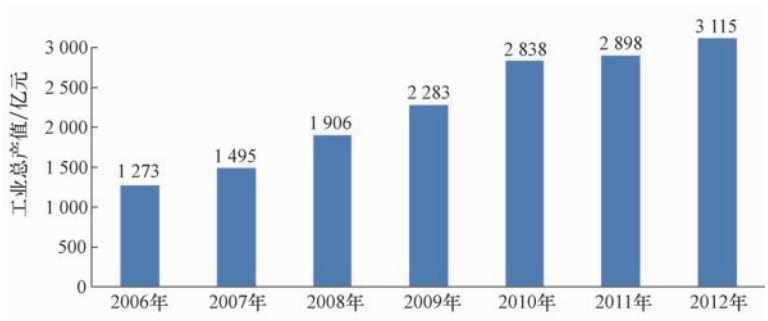


图 4-1　2006—2012 年我国规模以上企业工业总产值情况

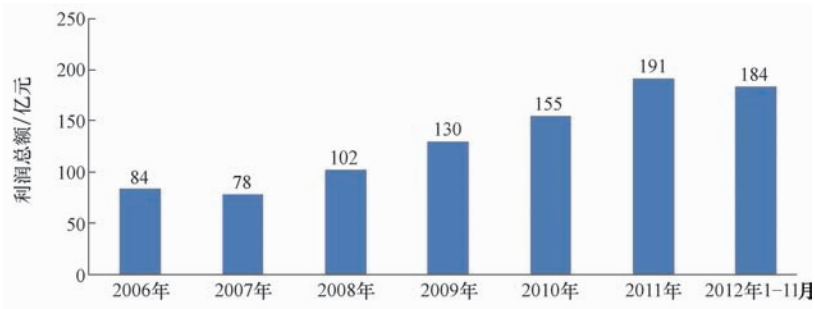


图 4-2　2006—2012 年我国规模以上企业工业利润总额情况

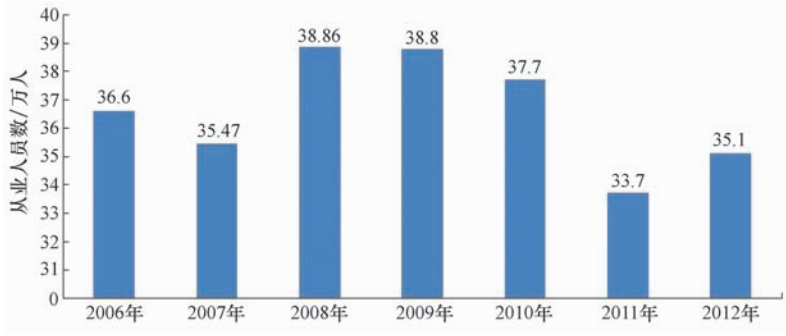


图 4-3　2006—2012 年我国农机规模以上企业从业人员情况

4.1.2　产品结构不断优化

按照我国技术标准的规定，农业机械概念包括的范畴除了种植业、畜牧业所使用的专用机械外，还包括农产品加工、林业、渔业机械，农业运输机械和可再生能源利用机械等共 7 个门类（表 4-1）。这 7 个门类产品中，包含了 65 大类、337 个中类、1 374 个小类。

我国的农机产品是结合我国农业的状况研制和生产的，我国现在能生产 14 个大类，113 个中类，468 个小类，3 500 多种产品。主要是农用拖拉机、耕整地机械、播种栽植机械、秧苗栽插机械、秧苗准备机械、中耕机械、植物保护机械、收获机械、场上作业机械、谷物烘干机械、农田基本建设机械、排灌机械等。

我国农业生产从过去的以人、畜力为主，发展成为今天的以机器为主，正是根据我国的实际情况，按农业生产的需要，不断推出适应农业发展和农民购买力的农机产品的结果。近年来，农机企业通过技术改造、技术引进和自主开发，使一批科技含量高的农机产品应运而生——实现了小麦全程机械作业；突破了玉米收获环节关键装备技术瓶颈；解决了水稻以栽插增产农艺技术配套的机械问题；拓展了甘蔗、西红柿、油菜等大宗经济作物的收获机械。这些大大缩短了我国农机工业与国外先进水平之间的差距，产品水平进一步提高。例如：大中型拖拉机 2009 年和 2010 年产量均超过 30 万台，117.7 ~ 132.4kW（160 ~180 马力）大型拖拉机实现批量生产，220.6kW（300 马力）级大型拖拉机样机面世；自走式玉米联合收获机技术逐步成熟，并批量投放市场。从整体上看，我国农业机械产品形成了大中小结合的产品结构，品种和生产的数量能基本上满足市场的需求，国产农机的市场满足度可以达到 90% 以上。2006—2012 年我国主要农机产品产量如图 4-4 所示。

表 4-1　我国农机产品分类情况

序号	产 品 门 类	大类数	中类数	小类数
1	种植业机械	14	113	468
2	畜牧业机械	7	45	164
3	渔业机械	5	20	103
4	林业机械	14	34	104
5	农产品加工机械	16	108	495
6	农业运输机械	5	8	27
7	可再生能源利用机械	4	9	13
合计	—	65	337	1 374

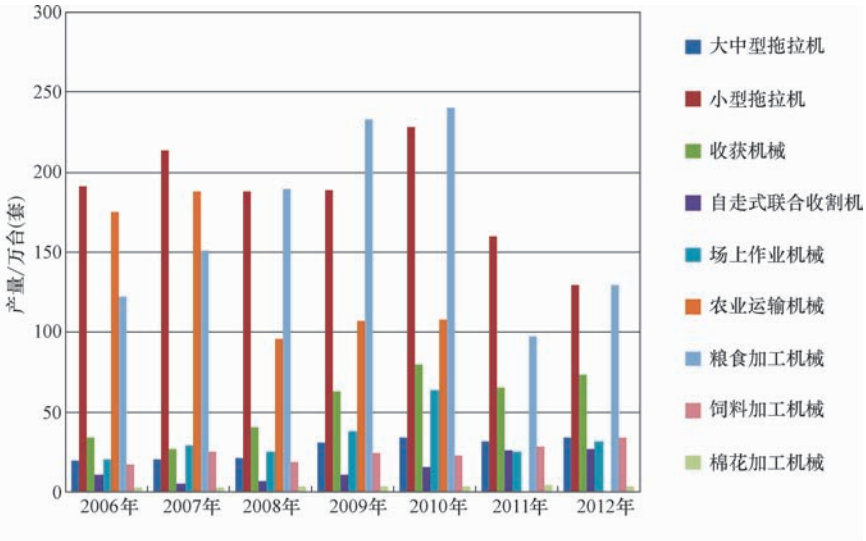


图 4-4　2006—2012 年我国主要农机产品产量

注：2011 年后，主要农机产品分类发生调整，自走式联合收割机改为谷物收获机械，场上作业机械改为收获后处理机械，农业运输机械不在农机领域统计，粮食加工机械改为农产品初加工机械。

4.1.3　产业体系逐步健全完善

我国农机工业从生产人畜力农具开始，到现在能生产拖拉机、联合收割机等几千种农机产品，实现了一个质的变化。随着生产能力和技术水平的提高，我国农机工业已经形成了涵盖科研、制造、质量监督、流通销售、行业管理等方面完整的体系。

1. 科研开发体系逐步形成

企业逐步成为技术创新的主体。我国农业机械制造业中有近 20 家大中型企业建立了技术开发中心，其中中国一拖、山东时风、福田雷沃重工、山东五征等设有国家级技术中心，具有相对独立的开发能力，成为新产品技术开发的主力军。有近 200 家中型企业已经设立了技术开发中心，工程技术人员、试验仪器设备不断完善优化，可进行设计或产品改进。小型企业以制造生产为主。

科研院所、大专院校成为共性和基础性研究的重要生力军。从中央到地方的农机科研院所在共性和基础性研究、新产品技术开发方面发挥了重要作用，国家级科研院所有中国农业机械化科学研究院、农业部南京农业机械化研究所、中国

农业工程研究设计院等，省、自治区、直辖市农机研究单位有 21 个。大学方面，中国农业大学、吉林大学、江苏大学、浙江大学、东北农业大学等一批高校近年来强化了农业机械专业教育和科研，在农机的基础理论和共性技术以及人才培养方面作出了贡献。同时，国家发展和改革委员会、科学技术部、教育部、农业部、中国机械工业联合会等部委（行业机构）主导建立国家农业机械工程技术研究中心、国家草原畜牧业装备工程技术研究中心、国家农业智能装备工程技术研究中心、土壤植物机器系统技术国家重点实验室、农业生产机械装备国家工程实验室等一批国家级、省部级的科研平台，全面提升了行业共性、基础性研究及新产品创新开发的能力和水平。

2. 大、中、小企业相结合，形成较完整的农机产业链

规模以上制造企业形成了一定规模的生产能力。我国农机制造企业共有 8 000多家，其中规模以上企业近 2 000 家，成为农机行业的骨干。其中包括了主机生产厂，也包括配套件生产厂，形成相对较为完整的农机产业链。

大型企业逐步形成，引领行业发展。我国农机工业以中小型企业为主，但要增强行业的国际竞争力，实现产业升级，必须要有具有创新能力、综合实力强的大企业引领行业的发展。随着农机工业产业组织结构不断优化，规模经济水平显著提高，逐步形成了山东时风（集团）有限责任公司、中国一拖集团有限公司、福田雷沃国际重工股份有限公司、常发集团、五征集团、现代农装科技股份有限公司等企业集团。农机工业中大企业优势更为明显，2012 年 50 强企业数量仅占规模企业的 2.6%，但其主营业务收入占行业的 57.8%，实现利润占行业总额的 43%。

区位优势和产业集群效应日益凸现。主产区分布在山东、河南、江苏、浙江和河北等。山东、河南、江苏、浙江和河北五省地位优势独特、政策支持力度较大、民间资本和外资投入活跃、产业基础雄厚、配套能力强，促使其产业规模相对较大，产业链愈加完整，集群效应得到发挥。2012 年，五省规模企业占到全国规模企业数的 54.04%，工业总产值占到全国规模企业总产值的 60.7%，销售收入占 62.3%。山东继续保持农机大省地位，江苏依然是日本等国的外企青睐、崛起之地，河南、河北两省进步较大、后来居上，山西、陕西新涌现一批规模以上农机企业，浙江、广东等经济强省后劲十足，东北大型农机制造招商引资力度大，广东、广西特色农机、个性农机开始起步，重庆、四川山地轻便型农机制造活跃。

多元化企业体制已形成。我国农机制造业在计划经济时期，企业均是国有或集体所有制。改革开放后，企业改制和对外合资合作方面取得较快的进展，民营企业和三资企业的数量逐年增加，其资产和销售收入占行业总的比例逐年提高。初步形成了国有或国有控股的企业、民营企业、三资企业组成的多元企业结构。根据中国农业机械工业协会统计，2012 年 1 908 家规模以上（2 000 万元以上）工业企业中，民营企业 1 694 家，国有及国有控股企业 65 家，三资企业 149 家，三种经济类型企业各占总数的 88.78%、3.41%、7.81%；三种经济类型企业销售收入占的百分比分别为 81.51%、7.15%、11.34%；资产占的百分比分别为 77.85%、7.58%、14.57%。与 2006 年对 1 757 家规模以上（500 万元以上）农机企业分析相比，民营企业比例上升超过 8 个百分点，国有及国有控股企业比例大幅下降。

3. 农机企业自检和国家监督相结合，质量检测监督体系健全

随着农机生产的发展，农业机械产品试验鉴定机构体系逐渐健全。各企业设立质量检验部门保证出厂产品的质量。国家质量监督检验检疫总局在全国设立了 12 个国家级农机产品质量检验检测中心。农业部设有农机试验鉴定总站，各省、自治区、直辖市也设有农机试验鉴定机构。这些机构有力地促进了农机产品质量的提高。

4. 农机销售和服务体系逐步形成

计划经济时期，在省、自治区、直辖市及各地区、县几乎都设立了国营农机销售供应公司，成为农机销售的主渠道。改革开放以后，逐渐被生产企业的专门代销机构和民营销售机构所取代。现在，主要制造企业自己的销售服务网络逐步齐备，中小型企业的专门代销服务机构也在不断地发展完善，物流机构由专业代销机构逐渐转向专门代理机构，这是一个很大的变化和进步。除此以外，全国还有较大的农机专业市场近 20 家，中小型农机专业市场近百个，有效地补充完善了农机流通领域。2011 年全国农机作业服务组织 17 万个，其中农机合作社达到 2.7 万个。

5. 政府各部门分工管理的行业管理体系，有力地保证了行业发展

政府系统农机制造行业的管理部门较齐备，有力地保证了行业的健康发展。国务院系统有国家发展和改革委员会，管理行业的规划、发展和产业政策与改革；有科学技术部，管理行业的技术创新；有商务部，管理行业的产品流通；有财政部，支持行业的投入；农业部设立专业管理司、农机试验鉴定站、农机监理站、农机化技术开发与推广站，负责农机的使用、推广、安全监理及产品的推广

鉴定、安全认证等。各省政府设有农业厅或农机局及相应机构，管理、引导适合地区使用的农机的推广等，推动农机化技术和农机的发展以及促进市场需求的信息交流。

6. 多元化国际合作研发，加快了集成创新步伐

形成了以中国农业机械化科学研究院为主的集成技术输出、一拖为主的“两头”在外、东风农机为主的国内外联合研发、福田为主的市场国际化等模式的国际合作。除此以外，还有一些中介机构，如中国农业机械工业协会、中国农业机械化协会、中国农业机械流通协会等社团组织，协助政府完成行业的发展规划、信息交流、市场规范和产业政策制定等工作。

4.1.4 国际贸易竞争力逐步提升

从“十一五”初期开始，农机工业实施了国际化发展战略，产品技术水平明显提高，进出口成效显著。出口方面，出口产品类别增加，出口产品在数量和金额快速增长的同时，出口结构也从以小型产品为主向大、中、小型产品相结合转变，大中型产品所占份额逐步提高；进口方面，近五年来国内市场对高端农业机械产品需求不断增加，成为国际农业机械市场需求量最大的地区之一，目前进口量大的主要是大型拖拉机及其配套农具、大型联合收割机等。自 2004 年起，农机工业出口总额一直大于进口总额。特别是农机工业进出口强劲增长的 2008 年，更是用 51.43 亿美元的贸易顺差创造了历史新高。虽然 2009 年受金融危机的影响，当年下滑 22.13%，但 2010 年出现了快速恢复性增长，增速达 29.97%，出口值超过 2008 年，规模企业出口交货值达到 65.66 亿美元。2011 年，进出口总额 110 多亿美元，其中进口 25 亿余美元。我国农机进出口贸易情况如图 4-5 所示。

图 4-5 我国农机进出口贸易情况

4.2 国内产业技术发展现状

“十一五”期间，围绕提升自主创新能力、加快转变发展方式的目标，我国农机行业先后实施完成了具有引领作用的“863”计划“精准农业技术与装备”重大项目，促进资源高效利用的“新型施药技术与农用药械”重点项目，现代农业生产发展急需的科技支撑计划“多功能农业机械与设施研制”重大项目，发挥机械效益与农艺效能的“现代化农业与机械化耕作技术研究与示范”重点项目，以及提高草原生产与生态综合能力的“草原畜牧装备与设施研制”重点项目。围绕扩内需、保增长和调结构的技术需求，国家科学技术部陆续启动了为占农作物产出51%的秸秆谋出路的先进制造技术领域“863”计划“秸秆收集固化成型关键技术及装备”，农业生产规模化和标准化急需的科技支撑计划“大型农业动力与作业装备研制”以及以智能化和信息化技术提升水平的“863”计划“现代农机智能装备关键技术研究”等项目。农业部继续深入推进公益性行业科研专项“丘陵山地小型农机具研究与示范”“根茎类作物生产机械化关键技术提升与装备优化研究”“玉米机械化生产工艺与装备系统优化研究与示范”等项目的研究进程，建立了一批农业技术集成和应用示范基地。“柔性精密播种机综合技术的引进”和“先进油菜收获技术及关键部件引进”等“948”计划项目的实施，推动了关键急需环节技术引进消化吸收再创新。工业和信息化部针对企业技术改造要求，从制造能力上支持了一批重点企业、重点产品的技术改造。系列重大科技项目的实施，显著提升了产业科技创新能力。

（1）小麦收获机方面　改造提升原有小麦收获喂入量，在新疆Ⅱ型机横轴流技术的基础上，通过增大割幅，增加横轴流脱粒滚筒数量，从原有2kg/s喂入量提升到3kg/s。研究开发纵轴流脱粒分离技术，建立了实验平台，实验解决了流程的通畅性、参数的匹配性、脱离与分离性能优化。重点研究了切流与纵轴流组合脱粒分离技术，已开发出喂入量4～6kg/s轴流式收割机、喂入量6kg/s切流与纵轴流组合式联合收割机。对联合收割机底盘进行了标准化设计，形成了大、中、小型三种通用型全液压驱动底盘，提高了三化水平。针对联合收割机大型化带来的系列问题，前期着重研究了自动化技术，包含了运行工况检测、作业性能检测、损失检测和在线测产、自动导航等技术，集成应用到6kg/s联合收割机上。研制了联合收割机作业性能检测系统和作业速度智能控制系统，研制了联

合收割机驾驶室人机工程实验平台及评价软件等。

（2）玉米收获机方面　在稳定提高对行玉米收获机性能的基础上，重点研究了不分行玉米收获技术。针对我国玉米种植农艺复杂的特点，研究密辊型、拨轮型、链式导入型等不分行收获割台，整机配备秸秆处理技术，形成了适合于3行、4行幅宽的不对行玉米联合收割机。玉米剥皮技术和玉米籽实收获技术及配套的烘干技术，正在进一步成熟。

（3）育秧、栽植和收获技术　以水稻插秧为重心，重点形成了毯状育苗技术，攻克了高速插秧机的回转式插秧机构、插深自动调控技术，依据国内特殊需求开发了高速插秧机及宽窄行插秧机，适合丘陵山地的轻便型插秧机。同时，针对我国水稻生产机械科技需求，以超级稻为重点，研究适应杂交稻特点的育秧、栽植和收获技术。深入研究了水稻直播技术，突破了直播的破胸催芽、芽种谷排种器等关键技术，基本形成了旱田直播、水田直播装备，为地区轻简化种植提供了技术基础。

（4）精量播种技术　重点开发了与58.8～220.6kW（80～300马力）中大型拖拉机配套的系列精量播种施肥机、免耕播种施肥机、折叠式气流输送精量播种施肥机等。

（5）农产品商品化处理技术　围绕农产品优质、安全、高效和节能降耗加工处理的要求，重点开发了高品质蛋白与油脂联产加工成套技术装备、果蔬绿色干燥与保鲜技术装备、机采棉加工成套技术装备等。

（6）机动高效精量植保技术　为实现高效快速防治和低污染，开展了低量农药喷洒技术和宽幅机动喷雾设备技术研究，针对高效施药技术重点研究了农药自动混配技术、循环喷雾技术、防飘喷雾技术和对靶施药技术，开发了射流防飘喷头、恒压防滴阀和精密混药装置等关键基础部件，形成了制造能力；研究了基于杂草、病虫害自动识别决策的变量施药技术；研制了高效低污染循环喷雾机、大田防飘喷杆喷雾机、小型均匀施药机具、变地隙与变轮距苗中后期高地隙植保机械、果园喷雾机械等植保机械产品。

（7）采棉机技术　为早日实现棉花生产全程机械化技术，正攻克采棉机关键技术。以新疆棉区“矮密早”膜下滴灌为农艺基础，研究采棉指材料和成型制造技术，自动导航、故障检测、产量计算等自动化技术，形成相对成熟的3行普及型采棉机和5行、6行智能型采棉机。

（8）农用动力机械技术　重点完成了直联型节能小型拖拉机和132.4kW

（180 马力）级拖拉机技术提升及产品产业化。获得动力负荷换挡自有知识产权，开发了集成总线技术等，开发了 147kW（200 马力）级、220.6kW（300 马力）级动力负荷换挡拖拉机，正攻克 294kW（400 马力）级液压无级变速重型拖拉机。适应田间管理需要，开发了自走式系列高地隙动力机械。

（9）农业机械智能化技术　控制和信息技术的应用，为农机产品的升级换代、提高技术性能和可靠性提供了前沿技术支撑。重点研究了大型农用动力、大型联合收割机等自动化控制技术，部分已经配置整机试验；研究了精准农业生产的土壤信息、作物信息采集技术，变量播种、精量对靶施药技术，产量处方图技术等；超前部署研究农用机器人技术，解决高危作业难题。

4.3　国内产业技术发展差距分析

（1）拖拉机动力技术方面　批量自主产权产品覆盖功率上限仅为 132.4kW。变速器技术采用有级式机械传动，啮合套或同步器换挡；离合器采用独立或半独立操纵的双作用式，负载换挡湿式离合器及湿式动力输出轴（PTO）离合器尚在研究之中。中央传动和最终传动普遍应用机械式差速锁与单级行星减速机构。电气、液压控制技术方面，总线控制技术刚开展应用研究，普遍仍沿用单元控制系统。拖拉机常规参数，如发动机转速、机油压力和温度、燃油量、电压等以独立仪表显示，作业面积、作业效率及工作时间，特别是挂载农具的操控技术基本没有应用。缺乏前驱动、差速锁和 PTO 自动控制功能，迫切需要开发可实现其电液操纵和自动控制的装置。农具挂接技术方面，一直没有开发前置式三点悬挂及 PTO 输出，中置 PTO 技术也没有应用，前驱动桥一般未配置前差速锁。行业迫切需要在更高效、节能的大型产品技术方面作出努力，开发、采用先进的拖拉机发动机、底盘、变速器、驱动桥和作业机具，配套提升控制技术，适应市场需求。

（2）种床整备技术方面　我国从 20 世纪 50 年代中期开始研究，并于 70 年代提出了深松耕作法，进入 90 年代相继出现了翻耙联合、松耙联合、松旋联合及灭茬深松起垄联合的复式耕作机具，但是同发达国家相比在为大功率拖拉机配套的联合整地机械方面差距还很大，主要是工作幅宽较小、工作部件材料不配套。大型联合耕耘机应用也非常少，而且主要从国外进口，价格非常昂贵，此外部件磨损后配件购置更换困难。高速作业犁一直以进口为主。

（3）精密播种技术方面　我国从 20 世纪 70 年代初开始研究和开发精密播种机械，主要是半精量播种。80 年代起，开始研究单粒精播，主要研制精密排

种器。进入 90 年代，随着国外不同类型精密播种机的相继引进，新型播种机和不同类型的排种器不断出现，精密播种的优越性得到了充分的体现。由于速度原因，机械式精密排种器的发展受到一定的限制，而气力式精密播种器对种子尺寸要求不严格，不伤种，通用性好，具备高速作业的性能，能满足为大功率拖拉机配套和宽幅作业的要求，因此气力式精密播种机的发展前景很好，是国内外各大农机企业都在竞相发展的技术。国内主要问题是播种精度低，缺少电子监控装置，宽幅气力种子精确输送技术刚刚开始研究，同国外先进播种机相比，技术上存在较大差距。在集约化育秧的精密播种方面，研究较少，尤其是蔬菜等育苗的精密播种机仍需要加大研究开发力度。

（4）免耕播种技术方面　目前国内生产大型小麦免耕播种机的企业为数不多，基本上是给中功率以下拖拉机配套使用的悬挂式机型。用于小麦的少免耕播种机基本上有三种类型：第一种是 3 行、6 行、9 行、12 行小麦免耕测深施肥播种机，箭铲式开沟种肥混施，主要问题是秸秆覆盖通过不畅、易堵塞，严重影响作业质量；第二种是带状旋耕播种机，大小垄种植，化肥能播施到种子下面，出苗整齐，主要问题是作业扰土量大，旋耕刀具磨损快，易断裂损伤，动力消耗大；第三种以中国农业机械化科学研究院和黑龙江北大荒农机有限公司开发的与 88.3kW（120 马力）拖拉机配套的条播作物免耕播种机为代表，其采用圆盘式开沟，目前最大行数达到 48 行，施肥、播种、镇压一次完成。在完成农业新技术要求的大型免耕深施肥播种机方面，性能优良、实用可靠的机型国内还是空白。尤其是配套的波纹圆盘等各类型圆盘开沟器，需要从结构形状与土壤质地构型变化、材料与成形、热处理工艺上深化研究。

（5）田间管理技术方面　与国外先进机具相比，我国生产、使用的中耕、施肥等田间管理机具功能单一，机型小，技术性能落后；国内现有的田间管理机械均采用拖拉机为动力，无法进行农作物生长中后期田间作业；缺乏中后苗期通用型底盘，致使田间管理流于粗放，无法满足现代农业生产对田间管理机械高效、精确、安全、可靠的使用要求。单一功能的苗期田间管理机具完成整套流程需要多次进地，对土壤破坏较大，同时机具耗费的燃油量大，不符合国家节能减排的政策。遵循田间管理作业装备开发平台化的国际技术发展趋势，中国农业机械化科学研究院已对具有多项作业装置搭载、集成能力的可变地隙/轮距动力机械技术进行了初步研究，迫切需要形成大、中、小型相配套，通用型和专用型相结合，适合我国农业生产特点的现代田间管理机械体系，满足作物不同作业的需

要。国内中耕除草机工作部件多为单翼铲或者双翼铲，也有圆盘式的除草机，对于滚切式除草机械国内尚无成熟的机型。各类中耕机多数采用的是从动型工作部件，可完成松土、除草等项作业，这类机械结构简单，在土壤较好的条件下可满足农艺要求，但对于杂草过多的地区，黏、重板结的土壤，作业效果不理想。对于苗间除草机械，其工作部件有旋转锄式、弹齿式、垂直圆盘式、水平圆盘式、锥形圆盘式、链齿式、轻耙式等多种形式，其中垂直双圆盘除草部件因具有结构合理和除草效果好等优点，应用较广。弹齿式、耕旋混合式、驱动式中耕除草复式作业机，设置了几种工作部件，可安装于播种中耕机和联合播种机等机架上进行中耕除草等作业，兼有垄沟中耕深松和垄台浅松除草梳苗等综合作业功能。近年来，垦区引进了美国旋转锄灭草技术，推广效果较好。然而，当旋转锄与中耕管理两项作业分别进行时，仍存在不少弊端，因为美式旋转锄灭草要求高速（16km/h 以上）作业。

（6）收获技术方面　国内普遍应用的小麦收获技术还是沿用 20 世纪 80 年代开发的Ⅱ型机技术，与国外相比，配套功率小，一般为 51.48 ~ 66.19kW（70 ~ 90 马力），喂入量低，在 2 ~ 3kg/s，收获效率 5 ~ 8 亩/h（1 亩 = 666.7m^2）；水稻联合收割机配用动力为 36.77 ~ 47.81kW（50 ~ 65 马力），割幅 1.8 ~ 2.5m，最高喂入量达到 2.5kg/s。我国玉米收获工艺与国外不同，因国外都是一季种植，收获时玉米含水率较低，可直接完成脱粒作业。而国内不少地区都是两季种植，收获时玉米含水率较高，直接脱粒造成破碎率高、损失多，所以国内玉米收获工艺为摘穗、排杂、果穗（剥皮）装箱、茎秆切碎还田。20 世纪 90 年代末期开始研制的玉米收割机机型多数与 14.71 ~ 22.06kW（20 ~ 30 马力）拖拉机配套，发展到现在的与 44.13 ~ 58.84kW（60 ~ 80 马力）拖拉机配套的 3 行玉米收割机，而自走式联合收割机目前还没有投入大批量生产，从研制的机型看多为 3 行、4 行，配套动力在 73.5kW（100 马力）左右。国内使用的谷物全喂入联合收割机主要以机械装置为主，辅以电子和液压装置，操作系统主要是手动，智能化装置很少；发达国家产品在各工作部位实现了监控、显示和报警，适应性强，避免故障发生，保证机器正常作业，而国内绝大多数机器没有此功能，仅少数机型设计有手动脱粒间隙调节装置。

综观发达国家农业机械的制造条件和能力、技术性能、产品效能、作业应用等现实，明显地看出，我国农业机械不仅仅是适应发展的提升速度较慢、集成技术应用上存在差距，而且在智能化、信息化等方面技术应用差距尤为明显。

第 5 章　我国农机产业发展战略与规划

5.1　产业发展面临的形势与需求

5.1.1　市场需求分析

随着 21 世纪人口数量的刚性增长、农业资源的约束和民生水平的不断改善和提高，为保证充足的粮食和多样化、高品质的农产品供给，迫切需要提高农业生产水平，这对现代农业提出了新的挑战，也对农业机械提出了更高的要求。

1. 国际市场需求分析

市场的全球化是我国农机工业发展的重要目标。我国自然资源和农业的多样性与世界各国农业机械发展的不平衡性，为我国农业机械走向国际化提供了机遇。从近年出口发展态势分析，亚洲、北美和欧洲仍是主要出口市场。其中亚洲是传统出口市场，出口比例近年出现小幅下滑，对北美和欧洲的出口比例缓步提升，而对非洲、拉丁美洲和大洋洲的出口逐步增加，这将会拉动总量，主要出口市场格局不会发生根本性变化。

另外，出口产品的结构将随着国际市场的需求不断地调整。一是出口产品的类别将逐渐增多，并且由当前以小型产品为主向大、中、小型产品相结合转变，大中型产品所占份额将提高；二是出口产品档次也将逐步提高，包括产品的外观、可靠性、质量、售后服务等，我国出口产品必将由低端产品向中高端产品发展。

2. 国内市场需求分析

未来十年是我国农业机械大发展的关键时期，预计农业机械总需求量将持续升高，新技术和产品开发速度将加快。《国民经济和社会发展第十二个五年（2011—2015 年）规划纲要》明确了农作物耕种收综合机械化水平达到 60% 左右。《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》提出了 2015 年农机总动力达到 10 亿 kW 的近期目标和到 2020 年目标，即农机总动力稳定在

12 亿 kW 左右，其中灌排机械动力达到 1.1 亿 kW，主要农作物耕种收综合机械化水平达到 65%。其中，小麦耕种收机械化水平达到 90% 以上，水稻种植、收获环节机械化水平分别达到 60% 和 85%，玉米机收水平达到 50% 左右，油菜机播、机收水平分别达到 15% 和 20% 以上，基本解决甘蔗种植、收获机械化关键技术问题。通过对农业劳动生产率、农业劳动力比例与农机化水平，以及粮食产量、种植面积的定量与定性分析可知，国内市场农用总动力将会继续增长，其中重点农机产品的趋势预测如下。

（1）大中型拖拉机产量总体呈现增长趋势　大中型拖拉机产量与农业结构调整和国家宏观政策密切相关，特别是受到农机具购置补贴影响较大，总体情况呈波浪上升态势。预计“十二五”期间总需求量为 160 万台左右，平均每年 30 多万台，到 2015 年 40 万台左右。

（2）小型拖拉机总体基本保持稳定　小型拖拉机，包括小四轮和手扶拖拉机，总体趋于稳定，呈现小幅增减波浪式发展。主要用于旧机更新换代、不发达地区的新增市场和出口。根据专家对农村经济的预期和对小型拖拉机减少排放、提高性能、农具配套技术发展、新增市场空间的理性分析以及近几年的走势判断，“十二五”期间小型拖拉机生产仍会呈现起伏式变化，年产量总体基本稳定在 200 万 ~230 万台。

（3）拖拉机原始功能的回归，配套农具比例提高　拖拉机与农具配套比例由 2000 年的 1∶1.4 发展到 2006 年的小拖配套比 1∶1.67，大中型配套比 1∶1.58，按照农业机械化综合水平发展目标，专家预测 2015 年有望接近 1∶3。仍将主要配套耕整机具、机引犁、机引耙、旋耕机、免耕与精少量播种机、铺膜机和秸秆还田机以及机动植保机械等。

（4）联合收割机需求量增加　联合收割机“十二五”期间总需求量约 80 万台，平均每年 15 万台以上。其中，小麦联合收割机需求量基本稳定，水稻联合收割机增长较快；而玉米联合收获机是最具增长潜力的产品，随着可靠性和适应性的提高，需求数量将大幅攀升，到 2015 年，专用的自走式玉米联合收获机总拥有量有望超过 8 万台；其他作物收获机械，随着技术的成熟，也会像三大粮食作物一样，需求量急剧攀升。

（5）农林飞机需求呈现增长趋势　按照通用航空专家委员会的预测，到 2020 年，我国农业和林业航空作业的机队规模将达到 1 600 架以上，而目前我国的农林飞机还很少。我国市场需要性能先进、使用方便、作业效率高的农林飞机。

（6）农机产品结构性调整的主要趋势　优化农机产品结构，改变目前高端产品不足、低端产品过剩，大功率拖拉机进口依存度高、小型农机质量差的局面。

5.1.2　技术发展趋势

当前，“四化”同步发展，农业结构战略性调整，农业生产方式转变，全面完成小康社会建设，引发了农业机械技术由产中向产前和产后延伸，由主要粮食作物向优势经济作物发展，由种植业向养殖与加工业拓展，由关键环节装备向全程装备配套，由农业应用向全面装备农业和农村的新需求。

科学发展，对影响人类生命健康的农产品机械精准生产过程质量控制、对环境保护和资源节约提出了更高的要求。先进适用、智能化、精准化、多功能、高效率等促进可持续发展的增产增效型、资源节约型、环境友好型农业机械已成为当今技术发展趋势和必然。重点在土壤-动植物-环境-微生物与机器系统应用基础方面取得突破，揭示机器作业对土壤质构、环境变化、动植物和微生物生长的影响规律，探索系统物质、能量传输与投入物高效利用调控理论与方法，实现机器与信息、生物、农艺技术的系统融合；重点用电子信息化技术改造和提升传统农业机械，促进自动化、智能化和精准化农业技术的研发及尽快应用；重点用先进工业化制造技术成果改造和提升农业机械制造水平，加强过程试验与检测、新材料与专用特殊材料开发、关键零部件先进制造能力，提高可靠性质量；重点在节能环保型动力机械、保护性耕作新技术机具、联合复式作业机械、精量播种与精准施肥机械、节水灌溉设施、精确高效施药技术与机具、农业航空作业专用飞机及机载专用配套设备、智能化多功能收获机械、农业废弃物综合利用设备、精细农机、农产品质量安全检测与监控设备、设施农业作业机具、节能型农村能源和环保设备等方面取得突破；重点用现代服务理念促进农机服务业技术发展，提高基于物联网技术的零部件制造与物流、作业机群调度、故障远程诊断、维修与再制造技术以及培训等。

5.2　产业发展面临的机遇与挑战

5.2.1　产业发展面临的机遇

1. 农业生产方式转型升级为农业机械结构调整带来千载难逢的机遇

在工业化、信息化、城镇化步伐加快的背景下，我国农业生产集约化水平不

断提高，农业形式日趋多样，资本替代劳力趋势明显。随着专业化、规模化、企业化的农业产业化经营模式的持续推进，农业功能的不断拓展，专业大户、家庭农场、专业合作社、农业企业逐步成长为现代农业的生产经营主体，农业生产方式的转型升级创造了农业机械发展的重要机遇。

2. 国家政策与法规为农业机械跨越发展提供强有力的保障

近年来，中央把解决“三农”问题作为党和政府工作的重中之重，一系列惠农政策的出台，为推动农业和农村经济社会的发展营造了良好的氛围。国家实施“多予少取”的惠农政策，建立健全支农资金稳定增长机制的财政方针，实施农业税的减免政策以及农机减免税长效政策，对购置和更新农机具给予适当的补贴，提高了农民的投资实力，激发了农民购买农业机械的积极性，繁荣了农机市场。农机社会化服务组织不断健全和壮大，提供了使用农机的前提条件。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》明确把“多功能农业装备与设施”列为农业重点领域优先发展。国务院《装备制造业调整和振兴规划》提出依托国家新增千亿斤粮食工程，大力发展大功率拖拉机及配套农机具等重点农机产品。《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》明确指出促进我国农机工业发展的指导思想、基本原则和发展目标、主要任务，明确了农机工业发展方向和农机产品的发展重点，规划了农机产业发展布局，部署了加大政策扶持力度和加强组织领导等方面的工作。国家“十二五”国民经济和社会发展、科学和技术发展等规划纲要，明确了“十二五”末的具体目标。

3. 现代化技术发展为支撑农机制造业技术水平快速提升奠定坚实的基础

适合我国特点的创新技术以及强大而先进的动力、机械、电子、信息、化工材料等上游产业支撑条件已经成熟，强大的工业基础和完备的工业制造体系、先进的制造设备等，为农机制造业水平的提高提供了近乎完备的基础技术支撑。

4. 我国农机工业总体上进入大有作为的战略转型期

推动工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展，我国城乡结构、产业结构、从业结构都将发生重大变化，农业机械化发展进入成长期。农业机械与信息、生物、农艺、环境技术结合，人才、技术、产品、制造、服务等农机工业结构优化调整，进入发展提升的关键时期。

5. 农业机械国际化步伐加快，提供广阔的市场

继续坚持开放战略，农业机械国际交流合作和国际贸易将不断扩大，与世界农机工业发展的相互联系和影响也会日益加深，国际、国内两个市场、两种资源相互补充，我国农业机械走向世界的步伐也将日益加快，出口产品结构将不断升级，市场将逐年扩大，市场份额将快速增长，从而推动我国农机制造业的发展与升级。

5.2.2 产业发展面临的挑战

未来几年，农机产品类别的多元化发展和产品更新换代速度的加快，对农机产品功能、性能、质量和关键零部件产业的发展提出了更高的要求；同时，随着新技术、新产品的开发和产业化所需的技术和资金门槛越来越高，投资风险在不断增大；农机产业链垂直整合和企业横向整合趋势将更加明显，产业集中度将不断提高。同时，跨国公司在加快低附加值产业对外转移的同时，牢牢控制着高端零部件和关键技术等产业链核心环节，关键技术受制于人的局面短期内将难以改变。这一切使国内企业面临严峻挑战。

5.3 战略指导思想、基本原则与战略目标、主要任务

5.3.1 指导思想

以科学发展观为指导，全面贯彻《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》主要内容，认真落实《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》《装备制造业调整和振兴规划》对农机工业的发展要求，围绕促进现代农业发展、保障国家粮食安全和建成社会主义新农村的主线，坚持调整产品和产业结构、转变经济增长方式、促进产业升级和可持续发展的总体思路，以适应农业规模化、精准化、设施化等为要求，以开发节能环保、多功能、智能化、经济型农业机械设施为主要任务，着力提高农机工业创新能力和制造水平，优化行业结构，实现由农机生产大国向农机制造强国的转变。

5.3.2 基本原则

（1）农机农艺，适用先进　坚持农机与农艺、适用与先进相结合，针对农业规模化、精准化、设施化生产的发展趋势和农机产品季节性强的特点，发展适

用合理、先进高效、安全可靠、符合市场需求的农机产品。

（2）重点突破，显著增强　坚持原始创新与集成创新相结合，强化科技支撑，以实现大型农业动力和作业装备领域关键技术和共性技术的突破为重点，显著增强农机工业科技创新能力。

（3）布局合理，全面提升　坚持科学有序地推进产品结构、产业结构调整，形成布局合理、适合国情、产业集中度较高的新格局，扩大企业规模效益，避免散、乱、低水平重复，实现产业结构的优化升级，全面提升农机工业制造水平和产品质量。

（4）节能减排，提高能效　根据保护性耕作、复式作业、资源节约、精细农业的装备需求，注重环境保护，贯彻节能减排原则，提高我国农机产品能效，发展高效率的资源节约和环保型农业机械，促进农业可持续发展。

（5）扶优扶强，完备体系　坚持扶优扶强原则，促进综合性企业集团、主机生产企业、专业化零部件企业优势互补、协调发展，促进产业集群形成规模，促进集科研开发、主机制造、关键件制造、成套装备供应、技术服务等为一体的产业体系更加完备。

（6）立足国内，面向国际　坚持立足国内市场，扩大出口市场的原则，发展巩固产品竞争优势，大力开拓国际市场。

（7）构建规范，现代流通　坚持建立健全新型农机市场体系，提高售后服务能力。

5.3.3　战略目标

1. 产业规模

到 2015 年，年农机工业总产值达到 4 000 亿元以上，出口贸易额达 120 亿美元，占全行业销售额的 20%。

2. 创新能力

建成协调有效的农机工业自主创新平台，在大型农业动力和作业装备领域实现重点关键技术和共性技术的重大突破，推进新产品开发。形成若干具有自主知识产权的产品和技术。行业技术创新能力显著增强，开发的新产品达到同期国际先进水平。

3. 产业能力

广泛采用现代制造技术，推动产业升级。初步形成集科研开发、主机制造、

关键件制造、成套装备供应、技术服务等为一体的产业体系，形成5家年销售收入在150亿元以上具有较强国际竞争力的大型企业集团。提供的产品能够基本满足保障我国粮食生产安全的战略和农业现代化的需要，成为世界农业机械制造大国和强国。

5.3.4 主要任务

1. 优化农机产品结构，适应现代农业需求

结合农业规模化、精准化、设施化生产的发展趋势，优化农机产品结构，开发新产品，广泛采用高新技术，改变目前高端产品不足和进口依存度高、低端产品过剩和质量差的局面；从国情出发，在开发大型农机的同时，积极发展适合家庭经营需要的中小型、轻简化农机，形成适应我国不同地区经济水平、高中低端产品共同发展的格局；贯彻节能减排原则，鼓励农机主机生产企业由单机制造为主向成套装备集成为主转变，积极开发生产高效节能环保、多功能、智能化、资源节约型农机。重点突破水稻插秧、玉米收获、油菜种植和收获机械，以及节水灌溉设备等的技术瓶颈，优先发展100马力（1马力=735.499W）以上大型拖拉机、50~70马力节能环保型水田拖拉机、高地隙拖拉机、多功能谷物联合收割机、玉米收获机、甘蔗收获机、棉花收获机、大中型动力机械配套机具、保护性耕作机具、高效植保机械、高效节能机泵设备、节水灌溉设备、小型抗旱排涝机械、适合丘陵山区使用的小型机械等。鼓励飞机制造企业研制新型农林飞机，满足农林航空作业的需求；加快农业清淤设备研究开发。

2. 实现关键共性技术突破，增强农机工业科技创新能力

坚持自主开发和引进、消化、吸收、再创新相结合的发展道路，建立以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的农机工业技术创新体系。突出“四个围绕”，提高农机工业创新能力，即：围绕大功率拖拉机、多功能收割机、高效节能大中型水泵、喷灌机等重大产品开发，加快产业升级和产品更新换代；围绕发动机、传动、电控、液压等核心部件研发，增强农机工业自主创新和核心竞争力；围绕科研手段和条件改善，提升农机新技术和新产品开发、试验试制能力；围绕科研机制创新，支持重点企业技术进步，带动行业发展。依托农机制造企业和科研院所，抓紧建设拖拉机、多功能收割机等重点农机产品开发企业的技术中心，以及公益性的农机重大、关键、共性技术实验室和工程中心，凝聚优秀研发人才，加快急需的关键性农机和重大共性技术的研发，集中力量攻克困扰产业发

展的工艺材料、基础部件、关键作业装置等技术瓶颈，形成一批具有自主知识产权的核心技术成果。新技术和新产品的开发要充分考虑农作物品种、耕作制度和经营体系的需要，提高农机的适用性。加强农机工程学科建设，加快动力机械、配套机具研发制造人才的引进，增加技术储备，培养一批具有创新能力的人才团队。支持高等院校加强农机工程学科建设，强化农机工程基础教育。完善农机培训体系，利用中等职业学校，加强农机制造等专业实用人才的培养。

3. 提升农机工业制造水平和产品质量

加大农机企业技术改造力度，改善企业研发和生产条件，应用精密成形、智能数控等先进加工装备和柔性制造、敏捷制造等先进制造技术，提高农机制造工艺及工装水平；完善农机产品质量标准体系，加快制（修）订农机产品技术标准，实现动力机械与配套农具、主机与配件的标准化、系列化、通用化开发生产；加快新技术、新工艺、新设备、新材料应用，提高关键零部件的加工精度，提升农机产品质量，逐步淘汰消耗高、污染重、技术落后的工艺和产品；在提升制造水平的基础上，进一步完善企业质量保证体系，加强外购零部件的检测和可靠性分析，规范新产品和新技术鉴定验收工作；建立农机企业质量监督检查制度，组织开展产品质量抽检；加强技术工人培训，提高工人使用现代化机械加工设备的能力，不断提升企业制造水平和产品质量。确保为农民提供安全、可靠、耐用的产品。

4. 优化产业结构，深化农机制造企业产权制度改革

加快推动农机工业产业结构调整和重组，通过产业布局优化，逐步淘汰落后产能，压缩过剩产能，促进节能减排，杜绝低水平重复制造，形成布局合理、集约发展的新格局；鼓励和引导农机企业优化产权结构，建立产权明晰、权责明确、管理科学的现代企业制度，提高科学决策和生产、经营水平，激发企业活力，增强发展后劲；支持国有、集体、民营、股份制等多种所有制农机企业的发展，鼓励社会资本进入农机行业，实现投资主体多元化；支持农机制造企业战略重组，加快集团化、集约化进程，通过资产重组、兼并收购、强强联合等方式，形成若干个具有先进制造水平和较强竞争力的大型企业集团和产业集群；完善产业组织结构，形成以大型企业为龙头、中小企业相配套的产业体系和产业集群，提升产业集中度和专业化分工协作水平；支持中小型企业走“专、精、特、新”的发展道路，培育一批先进的零部件加工企业，实现专业化、规模化生产，积极参与国际竞争。

5. 扩大农机工业国际合作

鼓励大型农机制造企业与国外合作开发和建立技术研究中心，提升核心技术、关键部件的研究开发能力；在保障产业安全的前提下，通过与国外企业合资、合作生产等方式，积极引进国外先进技术，通过引进、消化、吸收、再创新，提升大功率拖拉机、多功能收割机、现代农具、农林飞机等先进农机具制造技术水平，逐步降低高端产品进口依赖程度；吸引海外科技人才加入我国农机行业，加快动力机械、配套机具研发制造人才的引进，增加技术储备，培养一批具有创新能力的人才和团队，提高农机产品开发、制造和管理水平；实施农机装备“走出去”战略，大力开拓国际市场，鼓励企业参与对外援助和国际合作项目，扩大优势农机产品出口，引导有条件的农机制造企业到国外投资办厂。

6. 构建现代农机流通服务体系

建立健全农机制造企业品牌营销网络、专业农机流通企业销售网络相结合的新型农机市场体系；实施农机流通服务品牌工程，优化市场布局，发展连锁经营，培育一批辐射面广、服务质量好的大型农机流通企业、品牌农机店、区域性农机市场，健全农机零配件供应网络，提高农机产品流通效率，方便农民购机；建立农机产品售后服务体系和信息服务平台，依托重点生产企业、专业流通企业，建立售后服务中心，提高服务能力；完善农机产品“三包”制度，健全和规范农机修理市场，明确产品售后维修责任，规范服务程序，提高维修能力和服务质量。

5.4 重点发展领域

5.4.1 关键技术研究

1. 农业机械数字化设计与虚拟实验技术

针对当前我国农业机械整体水平与国外相差较大的落后现状，农业机械零部件种类多、结构复杂、相互制约因素多；农业机械设计仍处于传统的经验设计层面，数字化设计等新技术的应用不普及，或仅在设计的某个环节、某个点上孤立地应用，缺乏系统性等问题，开展农业机械现代设计技术研究。

数字化设计技术可以从根本上改变我国农业机械设计制造中“设计→试制→修改设计→规模生产”的传统设计制造模式，提高产品设计的一次成功率，降低生产成本，缩短上市时间，快速响应用户需求和市场变化，提升农业机械设

计制造企业的产品研发能力，加快自主知识产权产品的研发进程，增强农业机械制造业的核心竞争力，缩短我国农业机械设计技术与发达国家的差距，从而提高农业机械企业的产品设计能力和自主创新能力。

2. 农业机械技术可靠性与价值工程开发技术

针对当前我国农业机械行业产品可靠性考核仍以田间试验为主，产品的可靠性设计技术应用尚属空白，农业机械试验技术和检测手段的研究相对滞后，严重制约了农业机械新产品设计、研发和机具的可靠性质量检测；在缺乏创新平台支撑的条件下，农业机械的共性、公益性技术研发难以持续有效地开展等问题，开展农业机械技术可靠性与价值工程开发技术平台建设，以提升农业机械和设施的可靠性考核和性能检测水平以及经济价值性，完善农业机械试验标准和产品评价方法，加快推进农业机械新产品开发和性能试验。

3. 关键零部件标准化技术

目前，我国农业设备生产企业小而多，同类、同种机型的农业机械有很多的厂家生产，但零部件尺寸、加工工艺各不相同，加工零部件费工、费料、劳动生产率低、周期长、利润少，农机零部件基本不能通用、标准化程度很低，企业开发新市场难度加大，需要花费巨大的代价才能满足用户维修的需求。流通市场上买不到需要修复的零配件，用户需要到生产企业才能买到，耽误了农时。因此，新产品的开发必须满足我国农村不同地区对产品功能多样化的要求，要发展产品品种和规格，新产品开发要形成标准化、系列化、模块化、集成化。考虑产品的系列化和零部件配套互换性，可以大大压缩产品品种规格，从而加大单一零部件的产量，使得生产企业获得规模效益，为提高产品质量和降低成本创造条件。所以在研制、开发、生产现代农业机械的同时，必须重视农业机械标准化的研究，在新产品开发中，尽可能多地采用标准件、通用件，运用组合化的原理，提高零部件的配套互换性，使产品形成系列化，从而大大缩短新产品的设计、试制周期，快速适应市场需要。对于量大面广的农机产品及配件，要实行图样全国统一，使基础零部件实现通用化。

4. 非道路配套动力电控燃油喷射技术

我国非道路柴油机排放法规实施是必然的，与欧洲标准接轨将是推动我国自走式农业机械国际化发展的必由之路。对于自走式农业机械配套的动力机械来说，除了满足严格的排放法规要求以外，还必须满足动力性、经济性、低振动、低噪声、低成本和可靠性、耐久性、维修性能和安全性等要求。自走式农机配套

动力节能减排的关键是电子控制燃油喷射技术、增压技术、燃气排放后处理技术以及自走式农机的电控集成管理技术等，考虑到当前的国Ⅰ、国Ⅱ以及出口和发展需要的欧ⅢA、欧ⅢB和欧Ⅳ要求，重点发展大中型联合收割机、大型拖拉机、低速货车等配套使用的非道路柴油机的涡轮增压、增压中冷、可变涡轮增压等增压系统以及电控直列式喷油泵、电控高压共轨喷射系统、电控高压单体泵、新型喷油器和油嘴及排放后处理系统等。

5. 自走式农机无级变速传动技术（CVT）

变速器传动技术在农业机械上的应用，成为现代农机发展的标志之一，也是以大功率拖拉机为标志的农用动力机械技术竞争的焦点。国外农机传动系技术发展迅速，已经跨越了有级式机械传动系，发展到了无级变速静液压传动系，而国内农用动力无级变速传动系应用尚属空白。现代农业生产不仅要求精准化和智能化，对如何充分发挥农用机械的动力性和燃油经济性，保证自走式农机始终工作在最佳动力性和最佳燃油经济性，提高动力特性、经济性能、生产效率和操作自动化与人性化也提出了更高的要求。无级变速传动技术的关键是传动比可在一定范围内连续变化的变速器技术、变速器与发动机性能匹配技术、动力分配技术及其电控技术。重点发展自走式农业机械液压功率分流式无级变速传动及其电控技术、无级变速器动力匹配方法、重载大传动比行星传动及润滑冷却技术、压力流量补偿闭心负荷传感多路液压输出技术、整车及配套农具综合电液控制技术等。

6. 基于总线的农机智能控制技术

农机信息化与智能化是农机发展的主方向，国际上对基于农机总线的智能化控制技术研究方兴未艾，集成控制已贯穿整个作业机组，并与生产全过程相联系，已由最初的在各个部件上实现独立功能向以采用标准化通信协议为核心的网络化分布式控制技术发展，基于总线的智能控制技术对于提升我国农机产品水平，实现精准化作业等方面具有战略意义。以实现农业规模化、精准化的要求，现代农机智能装备需要对农业生产过程进行精确管理与控制，对产量、土壤、作物长势等农业信息进行在线检测和对作业参数进行准确控制，同时对发动机性能、能耗状况等农机系统状态进行实时在线检测或故障诊断，以减少农业生产过程中的损失及提高生产效率。如何把各种现场测量信息与控制信息统一起来，是农机智能化控制的一个关键，此外，实现各类电子控制单元（Electronic Control Unit，ECU）产品间互相兼容，在拖拉机与配套动力的发动机、农机具之间进行数据传输，并使各ECU之间具备协同工作能力，也需要一个统一的通信标准。

为此，重点突破基于总线的农业机械分布式控制理论和方法，建立农业机械总线控制结构体系，研究发动机、传动系、转向系和作业机组工况与作业质量监控技术、农业机械自动导航技术、故障诊断技术、田间信息智能采集与自动识别技术、农田投入物变量施用技术、智能虚拟终端及其人机交互关系等，以拖拉机及其配套作业机具、联合收割机、大型喷药机等为主要对象，研制基于总线技术的农业机械集成控制系统。

7. 农机先进制造技术

针对农业机械关键零部件产品质量存在原材料质量差、材料热处理水平低、加工质量差、设计强度不足、可靠性差等问题，重点研究对耐磨性、高抗性和耐用性、可靠性等有特殊要求的自走式农业机械传动系统、配套农具的开沟与耕翻作业部件、保护性耕作的波纹圆盘与深松部件、旋耕部件、精密播种排种器部件、作物移栽的栽植部件、秸秆加工的切割与打捆作业捆绳打结器部件、收获加工的新型脱离部件等关键部件制造技术。针对农机整机可靠性差、设计生产制造技术落后的现状，重点突破农业装备数字化设计、关键作业装置与复杂核心部件精密制造、部件与整机质量检测以及现代制造流程技术等，构建典型的农机计算机集成制造系统。

5.4.2 重点产品开发

1. 保障粮、棉、油、糖安全增效的技术装备

围绕提高农业综合生产能力，确保国家大宗农产品安全目标，继续提升动力机械和小麦生产技术装备水平，突破水稻和玉米生产所需的栽植、收获装备的瓶颈，开发纤维类、块茎类、油料作物和糖料作物所需关键装备，形成主要粮食作物和优势经济作物生产全过程用成套装备的开发和生产能力，有效保证供给，提高农业生产率和效益。

2. 保障农业可持续发展和节能环保的装备

以节能环保型农用动力机械、保护性耕作机械装备、种肥药精准施用装备、农作物秸秆收储运机械、新型节水装备等为重点，加强耕地、水、肥、药、种等资源和农业生产资料的合理利用和防治农业面源污染，促进农业由资源消耗型向节约型与可持续发展型转变。

3. 促进农业结构调整需要的装备

大力发展具有显著地域特色和资源优势的经济作物、园艺作物生产装备。发

展牧草饲料的收、捆和运输装备，福利养殖成套设备，提高畜牧业的机械化水平和产能。

4. 农业产业化所需的农产品加工成套装备

重点发展农产品初加工和精深加工及现代物流成套设备，突破制约农产品精深加工、绿色供应链产业的装备瓶颈；重点发展鲜活、特色农产品加工机械，集成开发农产品在线检测控制设备，构建保证农产品安全的监测体系，确保农产品安全和人民生命健康。

5.4.3 战略性发展方向

1. 农业信息获取与解析技术

（1）作物生长信息获取与解析技术

1）植物形态与生长信息获取技术。利用光学成像技术、反射光谱技术、信息传送技术、无线射频识别技术和虚拟仪器技术，研究开发智能化、实用化的植株形态与生长性状自动测量和分析系统，实现田间条件下高通量、多参数植物表型性状的连续无损测量和分析。

2）作物生理生化信息获取技术。围绕作物生长过程中的主要生理参数和生化组分，开展作物生理生化信息的光谱探测机理与获取技术研究，建立一套具有适用性和可靠性的光谱参数与估测模型及其获取仪器。

3）多源、多平台病虫草害实时监测技术。综合分析植物病害发生后引起的光学特性变化，研究基于多源波谱成像技术的植物病虫害面状、连续数字信息的实时获取和解析技术；研究病虫草害的早期检测及发生程度的定量表达模型；将遥感与地面观测数据相结合，研究病虫害发生与蔓延过程中“点”“面”转换及时空扩展规律。

4）养殖信息获取技术。研究养殖环境-动物生理-营养收入-设施设备信息的实时（动态）获取与解析、养殖设施图像信息的实时获取与解析以及动物生长状况图像信息的实时获取与解析技术，形成智能决策系统，指导设施、机器的活动，达到较佳的动物稳产、高产、安全生长状态。

（2）土壤信息获取与解析技术

1）土壤养分与盐分测定技术。研究基于光谱分析的土壤有机质光谱响应机理与预测模型，基于高分辨率合成孔径雷达（SAR）数据的盐分参数获取技术，非破坏性土壤养分原位快速测量技术，基于卫星高分辨率数据和红外光谱测定田

间土壤总氮、有机质的技术和制图方法。

2）土壤水分测定技术。研究基于高分辨率雷达数据的田间土壤含水量监测技术，不同类型土壤的水分微波介电特性，基于高分辨率雷达后向散射系数的土壤水分反演模型，高分辨率光学与雷达数据协作下土壤水分估算和空间制图。

3）土壤成分快速测定技术。探究土壤成分检测的机理及方法，建立基于X射线荧光光谱的主要土壤类型识别模型，重点研究近红外光谱、生物芯片技术检测土壤重金属元素的原理与方法，开发具有普适性的土壤特性高光谱预测与校验模型和设备。

（3）农产品信息获取与解析技术

1）农产品形态、色泽智能分析技术。研究基于机器视觉、人工智能的农产品形态和色泽等信息的准确描述方法，农产品形态和色泽等外部品质信息的快速提取方法，农产品形态和色泽等外部品质指标与内部品质之间的关联机理。

2）农产品组分信息在线获取与解析技术。基于可见/近红外光谱分析技术，研究开发粮食营养品质的获取与评估技术、猪牛禽生鲜肉品质安全信息的快速采集分析技术、果蔬品质检测模型技术以及水果适时采摘期检测技术。

3）农产品有毒有害物质的快速检测技术。研究基于纳米技术、生物芯片技术、电分析技术等的农产品中有毒有害物质的快速检测技术，包括农产品中残留的重金属、农药及致病菌等的快速检测技术。

4）抗生素残留快速筛查系统。研究建立对抗生素高灵敏的细菌筛选培养技术、活菌保存及活性稳定技术、抗生素和菌相互作用机理、细菌活性测定原理及仪器。

（4）遥感信息获取与解析技术

1）超低空遥感监测平台系统。研究开发适用于低空农情遥感监测平台的高分辨率、高光谱信息探测仪器，研究“星-机-网”多平台的农情信息遥感获取技术以及基于反演的遥感影像模型辨识技术，建立可靠的土壤及多作物农情遥感监测模型以及农业资源、灾害监测与预警系统。

2）农业遥感机理模型。研究植物生长模型、作物产量品质和遥感数据的同化算法，植被含水量信息遥感获取机理模型，多源遥感数据监测、预测作物产量与品质机理，作物生产力遥感监测应用技术。

3）遥感信息解析技术。基于多平台不同时空分辨率遥感数据融合协同处理的主要农作物与生产信息解析技术，以及灾害信息解析与评估技术。

4）农业信息拓展技术。研究基于历史多时点瞬时农业（作物、土壤和环境等）信息时间连续性拓展模型，基于定位观测数据的空间连续性拓展模型，地面观测、低空遥感遥测、航空遥感、航天遥感等多源、多平台农业信息的尺度转换与效应模型。

2. 农业智能装备技术

（1）智能监测关键技术及仪器

1）农业传感器与仪器装置。研究植物生理传感器技术方法、动物行为模式识别与监测技术和多功能复合传感器技术。开发植物生理传感器、动物生理与行为监测装置、环境生态检测仪器和农机作业对象在线检测装置。

2）农机专用传感器与仪器。重点研究农机与制造和工程设施开放工况下的运动参数、作业参数、操控参数、故障检测、制造质量检测等的获取技术和传感器、仪器。

3）传感器网络与信息集成平台。研究传感器自组织网络技术，构建传感器网络与信息集成平台。研制无线网络化、智能化土壤墒情、病害识别、作物长势等系列传感器与监测装备。开发低成本的无线传感器网络系统，对农田和作物实现网络化监测监控。

（2）智能控制技术系统与设备

1）与作业对象有关的智能作业在线传感器技术及控制系统。研究作物冠层叶面及病害信息的在线实时获取、作物养分含量分析、果实品质检测分析、与作物生长模型匹配的水、肥、药等需求的实时分析及变量投入控制技术。研究田间杂草实时自动光谱识别方法，建立杂草与喷药量之间的数学模型，研制基于光谱实时探测的智能化施药控制装备。研究土壤水分、养分等的检测技术与仪器，构建智能在线检测系统。研究动物生理生态、疫病监控、产量与品质监控等在线检测技术，构建动物健康饲养智能监控技术体系。

2）与农机装备和设施本身相关的智能检测与控制技术系统与设备。基于作业对象的智能检测与决策技术，研究农机装备自动调控技术与执行系统、故障诊断系统、自动导航与驾驶系统、作业过程参数优化与质量调控系统、水肥药种变量施用系统和总线控制技术系统等，提升农机智能化水平。开发生产环境智能化复合控制技术，研究温室植物生长多因子多目标控制技术，建立模糊控制模型，开发智能控制系统，研制网络化、智能化、嵌入式控制设备等，实现基于作物生长直接信息和间接信息相结合的精准型控制技术系统突破。

3）农业装备制造控制技术与装备。研究农业装备关键零部件制造在线检测与监测技术，智能调控关键零部件试验与可靠性技术，整机在线检测技术，制造过程物流调度技术，自动加工工艺规划技术，虚拟仪器接口标准技术，基于传感器信息、虚实结合的可视化单元技术，数字化设计与虚拟现实技术，研制基于计算机系统的农业装备先进制造自动生产线。

4）农业装备作业管理与服务控制技术与系统。农业机械装备智能调度管理控制技术与系统，研究大型农机作业装备及设施农业系统的网络化、信息化、可靠性技术，研制基于3S（GPS、GIS和RS）的农业机械调度管理、健康监控、故障报警、智能诊断及远程维护、服务、培训系统，农业装备的性能、排放、安全监测技术与系统，农业装备维修质量控制、监测技术系统等。

（3）农用智能机器人

农用机器人是农机智能化发展的重点，也是智能化技术集成的体现，主要是用在对人体、动物具有安全性危害、人工与普通机械所不能达到的作业目标、人工所不愿意从事的作业环节等领域。目前重点发展以下产品：

1）果蔬嫁接、套袋、采摘和分级机器人。研究园艺农业用果蔬嫁接技术，研究果蔬成熟度近红外自动探测分级和双目视觉目标定位技术，研究灵巧机械手技术、移动机器人技术以及机器人控制技术，研制园艺农业机器人，实现果蔬的自动嫁接和苹果、番茄、黄瓜、葡萄等的自动化采摘收获。

2）大田作物移栽机器人。研究柔性设计与仿生、模式识别与自主导航、自动取苗与投苗、直立移栽、漏栽检测等技术和专用基础作业部件，研制作物移栽机器人，提高旱田蔬菜、水田作物栽植关键环节的作业质量和效率。

3）施药、养殖场自动清粪作业机器人。针对高位、密闭等具有危害的农作物、果林、养殖、设施场所，依托机器视觉、自动避障、自动导航、路径规划、自动计量施药等技术，实现无人化施药和清粪作业。

5.5 发展战略

5.5.1 自主创新的科技发展战略

农业机械是装备现代农业的战略性新兴产业，服务对象具有鲜明的特点，我国农村土地分散、经营规模小，形成了制约发展的体制障碍；农业综合竞争力弱、农村经济发展慢、农民收入低，形成了制约发展的经济因素；农民文化素质

低、分居地域广，构成了制约发展的社会因素；地域广、自然环境变化大、作物品种繁杂、种植农艺不相同，构成了制约发展的自然环境因素；作业环境恶劣、强季节性持续工作，构成了制约发展的技术因素。我国农机产品必须要有自己的特色才能适应我国现代农业的要求，自主创新成为振兴我国农机装备产业的关键。

1）鼓励研发适合国情、先进适用、与农艺相结合的农业机械，支持引进、消化吸收新型高效农业机械设计制造技术，增强产品开发和制造能力。加强知识产权保护力度，推动农机工业创新发展。

2）积极发展以信息技术为支撑的自动化、智能化技术在农机产品的应用，大幅提升农机产品自动化技术水平。

3）优先支持研究粮棉油糖作物全程作业装备技术，提高综合生产能力，发展经济作物、农产品加工、健康养殖、生物质综合利用等装备技术。持续支持研究节能减排、资源节约、品质安全与高效利用技术，为农业资源的高效安全利用和降本增效提供装备技术支撑。

4）鼓励和支持发动机、电控、传动、液压等关键零部件的开发、制造，增强创新能力和核心竞争力。零部件企业要主动参与主机厂的产品开发，加快进入国际农机零部件采购体系。对关键零部件制造在技术引进、技术改造、融资以及兼并重组等方面予以支持。

5）加强农机特殊型材、耐磨材料、表面工程技术等研究。加快推进新型金属结构材料、新型非金属材料和新型复合材料技术，以及功能性、智能化、仿生等复合材料在农机工业的应用。

6）支持企业广泛应用柔性生产技术、现代监测技术、数字化技术、清洁生产技术、虚拟制造技术、网络制造技术等现代制造和管理技术进行技术改造，提升农机工业制造水平。

7）建立健全适合我国国情并与国际接轨的农机标准体系，推进农机产品的标准化、系列化和通用化。

8）规范新产品、新技术鉴定验收工作。积极开展农机高新技术产业化示范工作，加强先进适用技术和新产品的推广应用。

9）完善农机制造企业质量保证体系，建立农机产品质量跟踪追溯制度，加强质量管理。

10）建立高耗能、高排放、低性能、安全性差的落后农机产品淘汰和老旧

农机产品更新制度，制订发布淘汰产品目录，推进产品升级换代。

5.5.2 持续发展的产品提升战略

用现代制造技术来改造我国传统的农机产业，是我国农机产业实现振兴、产业结构升级的必由之路。通过广泛采用先进制造技术、信息技术，提升产品设计开发、生产制造、企业管理、市场营销、资源配置等整体水平，缩短产品开发周期，节本增效，降低污染，提高资源利用率，推动产业结构优化升级，走新型工业化道路。使落后的农机制造业插上先进生产力的翅膀，在更大范围、更广领域、更高层次上参与国内和国际竞争，实现质的飞跃。

1）根据国家发展战略和市场发展需要，组织制订重大农机产品及关键零部件开发导向目录，引导社会资金投入和企业研发。

2）加大对国家工程（技术）实验室、国家工程研究中心、国家级企业技术中心、产品质量控制和技术评价实验室等农机科研开发基础设施建设的支持力度。加强产学研结合，鼓励有条件的企业和科研院所建设拖拉机、多功能收割机等重点农机产品的开发中心及重大、关键、共性技术的研发中心。

3）以财政性资金投入为导向，企业资金投入为主体，社会资金积极参与，组织开展重大产品技术的开发。鼓励发展适合农业生产的新型、高效、节能、环保、安全型农机产品。优先发展大型拖拉机及其配套机具、大型高效联合收割机等大宗粮食和优势经济作物生产全过程用的成套装备，大力发展节能环保型农用动力机械、保护性耕作机械、种肥药精准施用装备、农作物秸秆和牧草饲料储运机械、农田基本建设机械、新型节水灌溉装备以及农产品加工成套设备等。

4）积极开展老旧农机回收再制造工作，推进拖拉机、联合收割机等农机的回收再制造，研究出台相关鼓励扶持政策。

5.5.3 优化布局的组织结构战略

我国农机企业普遍小而全，缺少具有国际竞争力，造成资源配置的不合理，缺乏群体与规模优势、协作配套能力和核心竞争力，只有实施做强做大企业，培育产业集群的战略，才能优化行业的结构。因为只有大企业才有雄厚的资本、产品覆盖面广、较强的核心竞争力，能参与国际市场竞争，能带动和引领整个产业跨越式的发展。只有产业集群利用地域的优势，通过价值链把相关企业集结成群，把流动着的财富吸引住并黏着在该区域，发挥产业聚集效应，带动集群内外

的合作竞争。

1）推动农机工业产业结构调整。依托现有产业布局，结合国内农业机械化发展需求，加大产业结构调整的力度，逐步形成布局合理、适合国情、专业化协作、产业集中度较高的产业新格局。

2）鼓励和引导农机制造企业优化产权结构，建立产权明晰、责权明确、管理科学的现代企业制度，强化农机制造企业的市场主体地位。

3）鼓励符合本产业政策的农机工业科技创新联盟等组织建设。

4）鼓励农机制造企业向集团化方向发展，在市场竞争和宏观调控相结合的基础上，通过兼并、收购、重组等方式，建立具有国际竞争力的综合性大型企业集团。

5）支持中小型农机制造企业向“专、精、特、新”方向发展，培育具有比较优势的零部件企业，进入国际农机零部件采购体系，参与国际竞争。

5.5.4 以人为本的聚才战略

人是最活跃的生产力，是企业核心竞争力的关键要素。我国农机制造业人才总量不足，流失比较严重，制约了行业的发展。致力于人才的潜能发挥和全面发展，把塑造人才、凝聚人才作为产业经济发展的重要战略是十分必要的。

1）以专业人才培养为重点，突出领军人物的培育。完善培育体系，注重农机基础教育，学校与企业、科研机构加强合作，联合培育年富力强、具有创造性的科技人才、管理人才、贸易人才和高级技工、特种技能的带头人。特别要突出领军人才，使其成为懂技术懂管理的国际化人才，同时要注重现有人员的素质培养和技能提升，开展专业培训、技能培训，扩展能力培训，重塑人才。

2）创造良好的聚才环境。建立培养人才的科学机制和吸引人才、用好人才的良好环境，完善制度和政策保证，健全激励机制。完善符合国际惯例和世贸组织规则的人才流动机制，主动吸纳、及时重用的人才引进机制，目标明确、综合激励的人才培养机制，公平竞争、优胜劣汰的人才使用机制，绩效优先、体现价值的人才分配机制，功能齐全、技术先进的人才市场服务体制。同时，通过良好的聚才环境，提高利用国际人力资源的能力，为实现中国农机产品全球化提供人才保证。

1. 准入管理

1）工业和信息化部依据职责对关系公共利益、人身安全的农业机械生产企

业实施准入管理。

2）准入条件包括生产企业应符合必要的生产条件、开发设计能力、产品技术要求、质量保证体系、安全生产和节能环保、销售和售后服务等方面的要求。

3）省级工业主管部门受工业和信息化部的委托，组织本行政区域内准入管理的有关工作。工业和信息化部根据企业自愿申请，委托具备条件的中介机构承担准入条件审查工作。符合准入条件的企业由工业和信息化部以公告的形式向社会公布。

4）对公告企业，国家和地方各有关部门及金融机构应优先给予相关政策支持。通过政策引导，提升我国农机工业的整体水平。

5）境外产业资本、金融资本并购境内重要农机生产企业并取得实际控制权，应按国家有关规定进行并购安全审查。

2. 市场建设

1）在国内市场销售自产农机产品的国内外企业，要严格按照《农业机械产品修理、更换、退货责任规定》，建立完善的销售和售后服务体系，确保用户的合法权益。

2）生产和销售企业要加强与用户的联系，做好用户操作培训和农机保养等工作，不断提高农机产品售后服务水平。

3）建立健全制造企业营销网络和专业流通企业销售网络相结合的农机市场体系。鼓励农机制造企业与金融、服务贸易等企业合作，创新营销方式和服务理念，形成多种机制和多种方式的市场营销格局，促进生产企业和销售企业的共同发展。

4）生产企业要定期向社会公布其授权和取消授权的销售或维修企业名单。对于停产机型要向社会公告，并保证在国家规定期限内提供合格的零部件用于售后服务和维修。

5）进一步加强农机生产供应链的监督管理，完善配套零部件质量抽查制度，工业主管部门要定期公布检测结果，为市场提供质量可靠的零部件供应信息。

6）禁止销售国家明令禁止的机型；禁止伪造或冒用他人商标、产品合格证销售农机具；禁止经销不符合国家标准的农机具和零配件。

7）禁止任何单位和个人，利用行政权力干涉市场，操纵市场，设置市场障碍，破坏市场机制，限制非本地农机企业生产的农机产品参与公平市场竞争的

行为。

8）建立农机召回制度。对于因设计或制造方面的原因存在缺陷，不符合有关法规、标准，有可能导致安全及环保问题的农机实行产品召回制度。

9）农机企业要进一步强化品牌意识，加强产品质量管理，扩大企业品牌的社会影响，提升品牌价值，提高企业核心竞争力。鼓励和支持农机生产企业创建国内优质品牌和国际知名品牌。

10）行业组织要积极推进品牌发展战略、企业信用体系建设和行业自律，提升行业竞争力，将培育品牌工作纳入行业服务中，促使品牌培育工作健康有序进行。

3. 进出口管理

1）进口的农机具及零部件应不低于我国同类产品技术标准，并依法检验合格。

2）对可能造成环境污染，或可能带来安全隐患的老旧农机具进口采取限制性措施；禁止不符合我国技术标准的老旧农机具进口，进口老旧农机具必须经国家质检机构或其授权的检验机构检验合格后方可进口。

3）经营出口农机及零部件的企业，应遵守进口国家和地区的法律法规，满足其对产品技术标准和维修服务的要求。

4）健全相关风险基金、信用担保、投融资机制，鼓励有条件的农机企业实施“走出去”战略，大力开拓国际市场。

4. 金融财税政策

1）国家技术改造投资对农机工业技术改造给予倾斜和重点支持，鼓励农机生产企业加大在增加品种、质量升级、节能降耗、环保治理等方面的技术改造力度。

2）积极支持符合条件的企业采取上市和发行债券等多种方式筹集资金，拓宽直接融资渠道。鼓励民间资本和外资向符合产业发展方向的企业投资。

3）对企业兼并、收购、重组予以政策支持。

4）鼓励金融机构向符合产业政策的农机工业项目提供信贷支持，充分发挥融资担保机构的作用，为企业提供贷款担保服务。

5）中央财政应综合运用财税杠杆，对农机工业实施稳定的倾斜政策，农机产品继续适用 13% 的增值税税率。

6）符合国家高新技术企业认定条件的农机制造企业，按 15% 的优惠税率征

收企业所得税。

7）加大财政投入力度，支持农机工业技术创新能力建设、科技成果产业化以及技术和智力引进；国家扶持中小企业专项资金积极支持农机工业发展；创新型企业试点向农机工业倾斜。

8）鼓励企业加强技术创新。用于科学研究和试验设计的费用，可以视为日常生产费用，在税前扣除；对开发产品所需的科研设施建设和实验研究等投资，凡符合国家有关税收规定的，可在所得税前列支。

9）对国家支持发展的新型、大功率农机产品确有必要进口的关键零部件、原材料，免征进口关税和进口环节增值税。对属于国家鼓励类的外资农业投资项目，进口国内不能生产的农机产品，在规定范围内免征关税。

第2篇

产品专题

第 6 章　大功率拖拉机

6.1　概述

近年来，在国家政策扶持力度逐年加大、市场结构调整进一步完善、用户需求日益增长的形式下，我国拖拉机工业生产和产品市场发展形势持续看好，呈现出产业位势提升、市场集聚明显加快、用户需求理性发展的大好趋势，成长环境得到进一步的优化。

根据相关统计，在 2006—2010 年间，我国拖拉机工业总产值呈现逐年增长的发展趋势（图 6-1）。2006 年，我国拖拉机工业总产值为 163.9 亿元（占当年农机工业总产值的 14.38%），到 2008 年增长为 281.8 亿元（占当年农机工业总产值的 14.72%），与 2006 年相比涨幅为 71.93%，发展到 2010 年，工业总产值达到 404.9 亿元（占当年农机工业总产值的 14.26%），与 2008 年相比涨幅为 43.68%。

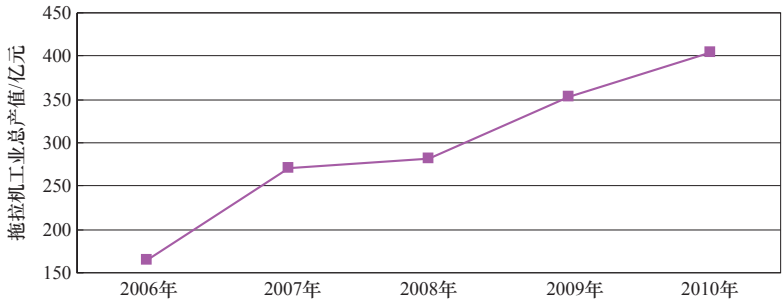


图 6-1　我国 2006—2010 年拖拉机工业总产值发展趋势

在这一期间，我国拖拉机产品市场销售额亦呈现逐年增长的发展趋势（图 6-2）。2006 年，我国拖拉机市场销售额为 163.3 亿元，到 2008 年增长为 315.5 亿元，与 2006 年相比涨幅为 93.20%，发展到 2010 年，市场销售额达到 397.8 亿元，与 2008 年相比涨幅为 26.09%。

进入 21 世纪以来，随着我国经济的快速发展，我国农业结构也加快了调整

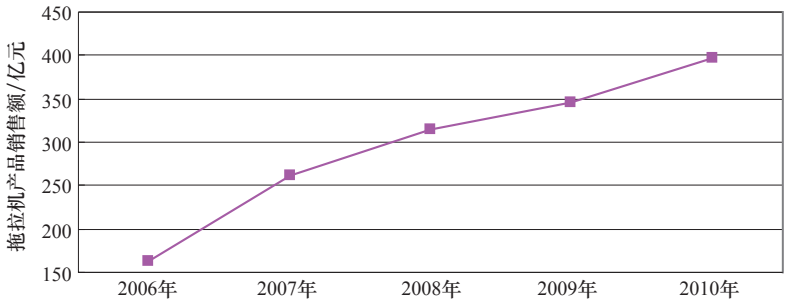


图 6-2　我国 2006—2010 年拖拉机产品市场销售额发展趋势

的步伐，农田的复式作业对大功率拖拉机的需求越来越大，使得我国进入了大功率（指 58.8kW 及以上机型，下同）拖拉机产品快速发展的时期。国外的产品进入我国市场，外资同时也在国内寻求合作。我国大功率拖拉机生产企业投资正在逐年加大，技术改造步伐加快，以引进国外先进技术和自主创新开发相结合。各种品牌的大功率轮式拖拉机新产品纷纷应需问世，拖拉机行业的优势得以进一步发挥。

目前，我国大中功率轮式拖拉机市场已经形成了几个竞争实力较强的大型企业集团。58.8kW 以上拖拉机产品市场份额的 70% 由中国一拖、福田雷沃重工、约翰迪尔天拖占据；中型轮式拖拉机行业的竞争状态极不稳定，行业领袖还未形成，处于行业第一阵营的中国一拖、福田雷沃重工、东风农机、约翰迪尔（宁波）等企业的市场占有率均为 15% ~20%，处于分散竞争状态，行业变数很大，这也为新进入的企业提供了发展的机遇。2010 年新增的国家补贴型号产品，20.6 ~29.4kW 功率段有 94 个，究其原因主要有两点：一是此功率段拖拉机产品市场集中度不高，竞争激烈；二是行业进入门槛低，新进入者往往选择此功率段拖拉机为切入点。由此可以看出 20.6 ~47.8kW 功率段中轮拖行业未来的市场竞争将更加严酷，行业集中度也会更加分散。

2010 年，在我国郑州举办的全国农机展览会上，全国 118 家拖拉机企业基本上都展出了大功率拖拉机产品，其中拖拉机功率在 58.8kW 及以上的生产企业超过了 50 家。目前我国大功率轮式拖拉机行业竞争状况比较稳定，位居行业前三名的中国一拖、福田雷沃重工、约翰迪尔天拖的竞争实力很强，其产能也十分强劲。从公开报道的信息来看，2010 年中国一拖在洛阳本地的新工业园大功率轮拖拉机新的装配线已经开始运行，福田雷沃重工也进行了大功率轮拖生产线的调整和生产能力的加强，另外中国一拖和福田雷沃重工均在新疆和东北地区投建了

装配基地，其产能在短期内会迅速提高。如果按国内市场年需求量 12 万台估算，行业内前三家的产能就能满足国内市场一年 90% 的需求，目前我国大功率拖拉机产量前三大公司的产量合计占有大功率轮拖 75% 的市场份额，短期内行业位势很难有大的变化。

据统计，目前国内前 50 家大功率轮式拖拉机生产企业的产能总量至少达到 25 万台，已经远远大于年需求量，大功率轮拖行业产能过剩已经成为不争的事实。2011 年在更多新企业加入和先期进入的企业扩大产能达产后，大功率轮式拖拉机行业的竞争更加激烈，市场集中度向两级方向发展，中国一拖、福田雷沃重工、约翰迪尔天拖等优势企业，更多关注 73.5kW 以上产品市场位势的争夺，而二线企业如东风农机、黄海金马及众多的三线企业和中小企业在 51.5 ~ 66.2kW 段展开了激烈的竞争。

近年来，我国大功率轮式拖拉机行业产品结构调整一直呈上延的趋势，其发展速度之快超出许多人的预期。五年前主流大功率轮拖产品还是 51.5 ~ 58.8kW，发展到 2008 年和 2009 年已经到 66.2kW。2010 年随着国家在全国范围大力推广土地深松作业、大功率复式作业机具使用等因素，华北、华中、华东等地区对 69.9 ~ 73.5kW 拖拉机、东北地区对 95.6kW 以上拖拉机的需求出现了一个爆发式增长。到 2015 年，全国年均深松作业将达到 2.3 亿亩以上，深松面积的扩大将拉动 73.5kW 以上拖拉机产品的需求。预计大功率拖拉机的功率仍将上延，69.9 ~ 73.5kW 将不再完全满足用户的需求，80.9kW 两轮驱动和四轮驱动产品将成为用户抢购的对象，尤其是 80.9kW 两轮驱动产品可能将取代 73.5kW 两轮驱动产品成为用户的新宠。同时与 73.5kW 及 80.9kW 以上产品配套的农机具的销量也将大幅增长。

国内 147.1kW 及以上拖拉机产品目前仍只能在东北、新疆地区，兵团和农场、农垦系统使用。2010 年黑龙江省统一贷款 33 亿元，组建 330 个农机专业合作社，引进国外功率在 154.4kW 以上的拖拉机装备 2 434 台，成为我国历史上最大的一次现代农机采购，预计今后拖拉机购买将从个体用户购买快速转换为以农业合作社、农机合作社为主体的集团采购、大客户购买。今后内地大功率轮式拖拉机需求可能会突破 80.9kW，有可能出现对 95.6kW 拖拉机的需求，东北和新疆地区的农场、合作社对 132.4kW、147.1kW 以上产品的需求空间仍很大，147.1kW 以上拖拉机已经不再是企业作为技术储备或作为概念机了，而是已经出现了现实的规模需求，国内各企业显然也已经发现了这种趋势，从 2010 年国

内各农机展会上就可以看出这一发展势头。在2010年的郑州全国农机展览会上132.4kW的产品已经有普及的趋势，147.1kW以上的拖拉机就有中国一拖生产的东方红LV3804、LZ2704、LX2204、LX2004，福田雷沃重工生产的欧豹TN3254，凯斯纽荷兰的T2104，常发集团的CF2604，常林的CL2204，尤其是中国一拖的147.1kW以上产品已经具备了量产和规模化销售的能力，2011年国内147.1kW以上拖拉机实现了批量销售。

6.2 生产发展概况

6.2.1 我国大功率拖拉机生产发展概况

1. 国内大功率拖拉机生产情况

当前，我国拖拉机行业的产品技术和生产技术依然落后于国外发达国家，特别是大功率拖拉机领域，尽管从20世纪80年代开始引进国外技术，但经过多年的发展仍然收效不大。除了技术含量高、制造难度大以外，我国在制造工艺、精密加工技术和铸造技术、材料技术、液压与电子技术方面与国外发达国家相比也有较大的差距。同时，许多高新技术的配件、附件生产配套也难以达到标准。因此，国内拖拉机企业在发展大功率轮式拖拉机领域也采取了多种策略。

1）采取合资合作形式，结合国情选择合适的品牌机型生产，学习和掌握国外先进技术，提高制造工艺和管理水平，融合中外拖拉机产业优秀的企业文化。在技术上主要考虑四轮驱动型，功率58.8～147.1kW，发动机以增压和增压中冷直喷机为主，传动系具备同步器换挡技术，液压系统具有基本的电子控制系统，转向采用全液压系统，安全驾驶室、多路输出、快速挂接和前动力输出为标准配置，可选装前置提升器、中置动力输出装置和空调系统等。

2）采取自行设计开发、部分总成技术创新、部分总成国外配套相结合的方式。自行设计如安全驾驶室、同步器换挡的传动系统、离合器和制动器等关键装置，发动机选配国内合资生产的产品，国外配套选择前后驱动桥、传动系统、液压系统、电子控制系统等专业生产厂的产品。

3）对具有高新技术的关键部件总成加大投入力度。如高性能发动机、机电液一体化传动系统、新材料、计算机控制的操作系统和智能化驾乘系统的开发逐渐加大投入，由易到难稳步发展，使产品从技术性能、价格水平、维修保养方便性、机具配套性等方面逐步适应国内外市场广大用户的要求。

在2006—2010年间，我国生产的大中型（指18.4kW及以上）拖拉机在20.3万~38.4万台之间。其中功率在58.8kW及以上的机型产量在3万~10万台之间（图6-3和表6-1），总体上呈现为逐年增长的发展趋势。如在2006年，我国生产大中型拖拉机207 328台，其中功率在58.8kW以下的机型为177 235台，占总产量的85.49%；功率在58.8kW及以上的机型为30 093台，占总产量的14.51%。2008年，我国生产大中型拖拉机217 133台，其中58.8kW以下的机型为166 280台，占总产量的76.58%；58.8kW及以上的机型为50 853台，占总产量的23.42%，其中58.8kW及以上机型所占当年总产量比例，与2006年的相比，增长了8.91%。发展到2010年，我国生产大中型拖拉机384 000台，其中58.8kW以下的机型为283 869台，占总产量的73.92%；58.8kW及以上的机型为100 131台，占总产量的26.08%；58.8kW及以上机型所占当年总产量比例，与2008年的相比，增长了2.66%。

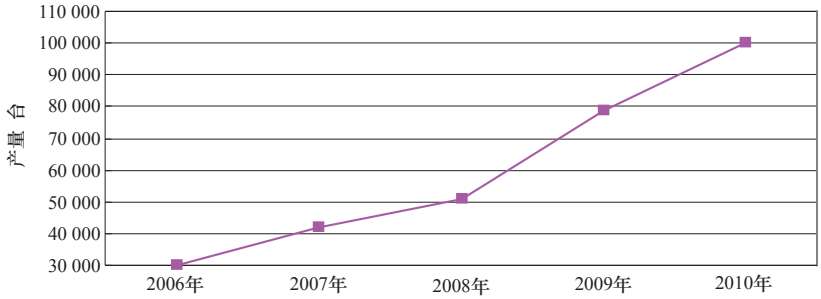


图6-3　我国2006—2010年58.8kW及以上拖拉机产量走势

表6-1　我国近年来58.8kW拖拉机占大中拖总产量比例

年份	58.8kW以下产量/台	占大中拖产量比例(%)	58.8kW及以上产量/台	占大中拖产量比例(%)	当年总产量/台
2006年	177 235	85.49	30 093	14.51	207 328
2007年	161 078	79.29	42 050	20.71	203 128
2008年	166 280	76.58	50 853	23.42	217 133
2009年	292 108	78.74	78 892	21.26	371 000
2010年	283 869	73.92	100 131	26.08	384 000

从所统计的58.8kW及以上各功率段机型的产量来看，在2006—2010年之间，除58.8~65.4kW这一功率段的产量呈现先升后降，再升再降的波浪式发展

趋势外，其他各功率等级的产量均呈现逐年增长的趋势（表 6-2）。

表 6-2　我国 2006—2010 年 58.8kW 及以上拖拉机各功率段产量

（单位：台）

功率段/kW	58.8～65.4	66.2～72.8	73.5～94.9	95.6～116.9	117.6及以上	合计	当年大中拖总产量
2006 年	22 451	4 939	2 703	0	0	30 093	207 328
2007 年	30 331	7 229	4 457	0	33	42 050	203 128
2008 年	29 053	15 162	5 851	651	136	50 853	217 133
2009 年	35 164	36 546	5 652	1 235	295	78 892	371 000
2010 年	28 283	54 900	13 600	2 365	983	100 131	384 000

2006 年，在生产的 58.8kW 及以上拖拉机中，58.8～65.4kW 这一功率段产量为 22 451 台，占 58.8kW 及以上拖拉机总产量的 74.61%；66.2～72.8kW 这一功率段产量为 4 939 台，占 16.41%；73.5～94.9kW 这一功率段产量为 2 703 台，占 8.98%；而 95.6～116.9kW 和 117.6kW 及以上这两功率段拖拉机当年还没有产量（图 6-4）。

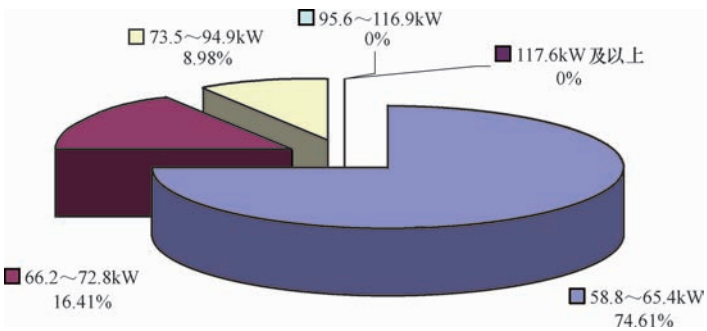


图 6-4　我国 2006 年 58.8kW 及以上拖拉机产量各功率等级占比

2008 年，在生产的 58.8kW 及以上拖拉机中，58.8～65.4kW 这一功率段产量为 29 053 台，占 58.8kW 及以上拖拉机总产量的 57.13%；66.2～72.8kW 这一功率段产量为 15 162 台，占 29.82%；73.5～94.9kW 这一功率段产量为 5 851 台，占 11.50%；95.6～116.9kW 这一功率段产量为 651 台，占 1.28%；117.6kW 及以上这一功率段产量为 136 台，占 0.27%。

发展到 2010 年，在生产的 58.8kW 及以上拖拉机中，58.8～65.4kW 这一功

率段产量为 28 283 台，占 58.8kW 及以上拖拉机总产量的 28.25%；66.2～72.8kW 这一功率段产量为 54 900 台，占 54.83%；73.5～94.9kW 这一功率段产量为 13 600 台，占 13.58%；95.6～116.9kW 这一功率段产量为 2 365 台，占 2.36%；117.6kW 及以上这一功率段产量为 983 台，占 0.98%（图 6-5）。

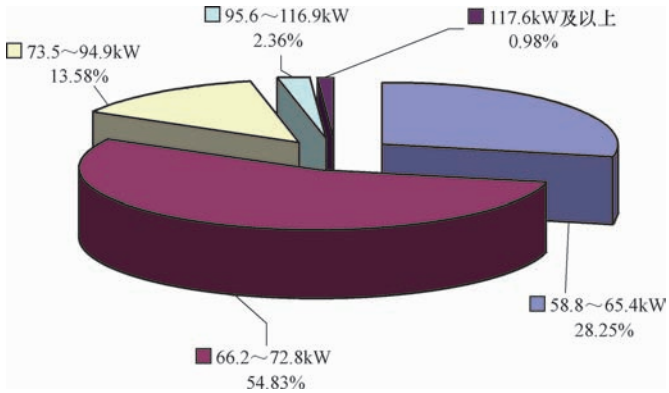


图 6-5　我国 2010 年 58.8kW 及以上拖拉机产量各功率等级占比

2. 国内大功率拖拉机主要企业产量发展情况

从所掌握的资料来看，自 21 世纪初以来，我国大中型拖拉机行业呈现出加速整合的趋势，特别是大功率拖拉机的生产集中度在逐年提高，其产品产量基本上被前 5 家公司所垄断，一些较大功率段产品的生产更是被极少数公司所独揽。现对近年来我国大功率拖拉机各功率段产品主要公司的产量情况进行简单分析。

（1）58.8～65.4kW 拖拉机　58.8～65.4kW 拖拉机是我国大功率拖拉机中产量较大的一个功率段，发展到 2010 年，共有近 50 家公司能够生产这一功率段产品，但真正形成批量生产的公司不多，产销量在 1 000 台以上的公司更少。

2006 年，我国该功率段拖拉机的产量达到 22 451 台，其中产量排在前 5 名的公司的产量为 20 721 台，占当年这档拖拉机总产量的 92.29%；前 5 家中的福田雷沃重工为 8 857 台，占这档产品总产量的 39.45%；中国一拖的产量为 5 062 台，占这档产品总产量的 22.55%；约翰迪尔天拖为 3 941 台，占 17.55%；河南千里为 1 630 台，占 7.26%；马恒达盐拖公司产量为 1 231 台，占 5.48%；其他公司的产量共为 1 730 台，占当年这档产品总产量的 7.71%。

发展到 2009 年（所统计数据为 1—11 月产量，下同），该功率段拖拉机的产量达到 34 395 台，其中产量排在前 5 名的公司的产量为 30 286 台，占当年这档产品总产量的 88.06%。前 5 家公司中的中国一拖产量为 10 035 台，占这档产

品总产量的29.18%，马恒达盐拖公司产量为1 444台，占4.20%；福田雷沃重工为11 009台，占32.01%；约翰迪尔天拖为6 590台，占19.16%；河南千里为1 208台，占3.51%；其他公司的产量共为4 109台，占当年这档产品总产量的11.94%。其他公司的产量所占总产量的比例在增加。

（2）66.2～72.8kW拖拉机　66.2～72.8kW拖拉机是我国大功率拖拉机中产量增长较大的一个功率段。2006年，我国该功率段拖拉机的产量达到4 939台，其中产量排在前4名的公司的产量为4 861台，占当年这档产品总产量的98.42%，前4家中的中国一拖产量为2 222台，占这档产品总产量的44.99%；福田雷沃重工为1 454台，占29.44%；约翰迪尔天拖为745台，占15.08%；常发集团为440台，占8.91%；其他公司的产量共为78台，占当年这档产品总产量的1.58%。

发展到2009年，该功率段拖拉机的产量达到32 244台，其中产量排在前4名的公司的产量为29 184台，占当年这档产品总产量的90.51%；前4名公司中的中国一拖产量为19 452台，占这档产品总产量的60.33%；福田雷沃重工为7 169台，占22.23%；约翰迪尔天拖为1 973台，占6.12%；常发集团为590台，占1.83%；其他公司的产量共为3 060台，占当年这档产品总产量的9.49%。其他公司的产量所占总产量的比例增长幅度较大。

（3）73.5～94.9kW拖拉机　73.5～94.9kW拖拉机是我国近几年进入批量生产的一个功率段产品，市场销路较好。到目前，能够批量生产的公司只有几家。2006年，我国该功率段拖拉机的产量达到2 703台，其中产量排在前3名的公司的产量为2 683台，占当年这档产品总产量的99.26%，前3名中的中国一拖产量为1 273台，占这档产品总产量的47.09%，约翰迪尔天拖为823台，占30.45%；福田雷沃重工为587台，占21.72%；其他公司的产量共为20台，占当年这档产品总产量的0.74%。

发展到2009年，该功率段拖拉机的产量达到4 967台，其中产量排在前3名的公司的产量为4 458台，占当年这档产品总产量的89.75%。前3名公司中的约翰迪尔天拖产量为1 915台，占这档产品总产量的38.55%；福田雷沃重工为1 550台，占31.21%；中国一拖产量为993台，占19.99%；其他公司的产量共为509台，占当年这档产品总产量的10.25%。其他公司的产量所占总产量的比例在增加。

（4）95.6kW及以上拖拉机　95.6kW及以上拖拉机是我国近两年刚进入批

量生产的一个功率段，其技术含量较高。到目前能够批量生产的公司只有 3 家。在 2006 年，该功率段拖拉机还没有产量统计，到 2008 年也只有 2 家公司生产这档产品，当年的产量达到 787 台，其中中国一拖产量为 506 台，占这档产品总产量的 64.29%，福田雷沃重工为 281 台，占 35.71%。

发展到 2009 年，该功率段拖拉机的产量达到 1 379 台，生产公司增加为 3 家公司，其中中国一拖的产量为 915 台，占这档产品总产量的 66.35%，福田雷沃重工为 410 台，占 29.73%，约翰迪尔天拖为 54 台，占 3.92%。

目前国内大中型轮式拖拉机市场已经形成了几个竞争实力较强的大型企业集团。58.8kW 以上 70% 的市场份额由中国一拖、福田雷沃重工、约翰迪尔天拖占据；在大轮拖产品生产企业里，132.4kW 及以上产品是行业中的制高点。行业里除以往在此产品上已耕耘多年的中国一拖和紧随其后的福田雷沃重工外，2010 年约翰迪尔天拖、上海纽荷兰、山拖农机装备有限公司等企业也推出了 132.4kW 产品。预计不久 132.4kW 功率段产品技术将会扩散普及，市场多元化主体竞争态势将会形成，竞争也会渐趋激烈。

3. 国内大功率拖拉机市场发展趋势

根据以上对我国近年来大功率拖拉机生产发展情况的粗浅分析，可以看出以下几个发展趋势：

（1）大功率产品的产量呈现逐年增产趋势　在 2006—2010 年间，我国生产的 58.8kW 及以上的机型产量在 3 万 ~10 万台之间，总体上呈现逐年增长的发展趋势。如 2006 年，我国生产 58.8kW 及以上的机型 30 093 台，占总产量的 14.51%；2008 年，我国生产 58.8kW 及以上的机型 50 853 台，占总产量的 23.42%，其中 58.8kW 及以上机型所占当年总产量比例，与 2006 年的相比，增长了 8.91%；发展到 2010 年，我国生产 58.8kW 及以上的机型 100 131 台，占总产量的 26.08%，其中 58.8kW 及以上机型所占当年总产量比例，与 2008 年的相比，增长了 2.66%。

（2）各功率段产品生产集中度较高　自 21 世纪初以来，我国大功率拖拉机的生产集中度较高，其产品产量基本上被前几家公司所垄断，一些较大功率段产品的生产更是被极少数公司所独揽。

1）58.8 ~ 65.4kW 功率段。2006 年，该功率段拖拉机的产量达到 22 451 台，其中产量排在前 5 名的公司的产量为 20 721 台，占当年这档产品总产量的 92.29%。发展到 2009 年，该功率段拖拉机的产量达到 34 395 台，其中产量排

在前 5 名的公司的产量为 30 286 台，占当年这档产品总产量的 88.06%。

2）66.2～72.8kW 功率段。2006 年，我国该功率段拖拉机的产量达到 4 939 台，其中产量排在前 4 名的公司的产量为 4 861 台，占当年这档产品总产量的 98.42%。发展到 2009 年，该功率段拖拉机的产量达到 32 244 台，其中产量排在前 4 名的公司的产量为 29 184 台，占当年这档产品总产量的 90.51%。

3）73.5～94.9kW 功率段。2006 年，我国该功率段拖拉机的产量达到 2 703 台，其中产量排在前 3 名的公司的产量为 2 683 台，占当年这档产品总产量的 99.26%。发展到 2009 年，该功率段拖拉机的产量达到 4 967 台，其中产量排在前 3 名的公司的产量为 4 458 台，占当年这档产品总产量的 89.75%。

（3）95.6kW 及以上拖拉机生产公司较少　由于 95.6kW 及以上拖拉机的技术含量较高，一般中小型公司从其资金规模和设计生产技术等方面均无法与大型公司相比，因此生产这档产品的公司较少，到目前只有两三家公司具有生产能力。

未来五年是我国农业机械大发展的关键时期，预计农业机械总需求量将持续升高，新技术和新产品开发速度将加快。根据《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》，2015 年主要农作物耕种收综合机械化水平达到 55% 以上和农机总动力达到 10 亿 kW，国内市场农用总动力将会继续增长。

大型拖拉机产量总体呈现增长趋势。大功率拖拉机产量与农业结构调整和国家宏观政策密切相关，特别是受到农机具购置补贴影响较大，总体情况呈波浪上升态势。预计“十二五”期间总需求量 65 万台左右，平均每年 12 万多台，到 2015 年需求量在 15 万台左右。

6.2.2　国外部分国家大功率拖拉机市场情况

1. 近年来部分国家大功率拖拉机市场销售

许多年来，在世界拖拉机工业发展中，不论是产品技术水平还是产品产量，北美、西欧和日本等一些经济发达国家都一直处于领先水平。这些国家由于农业机械化的发展较早，在 20 世纪 80 年代中后期拖拉机保有量就已基本饱和，拖拉机产业的国内市场主要用于更新换代。为了适应这一发展形势，发达国家各主要拖拉机公司通过改变经营方式，加快研制和投产更为舒适、可靠的新系列产品，增强产品在市场上的竞争能力，同时极力开拓海外市场，扩大产品技术的出口转让，增加自己的产品经营范围。发展到 21 世纪，不少发展中国家随着其经济的

快速发展，其拖拉机工业技术也得到较快的发展，特别是其产品产量，已经超过了经济发达国家，但是其拖拉机产品的结构性能水平与经济发达国家相比，仍有很大的差距。

当前，国外各主要拖拉机公司生产的新型拖拉机产品系列，覆盖了拖拉机的各个功率段，在中等功率区段和大功率等级拖拉机上新技术和新结构的创新应用较为普遍，生产的超大型拖拉机的最大功率已达到了500kW，折腰转向型拖拉机和履带式拖拉机的最大功率已超过了400kW，采用整体式转向系统结构拖拉机的最大功率已达到380kW，标准型拖拉机的最大功率已达到250kW。当前，北美和欧洲市场的大功率拖拉机产品的功率增长发展将继续成为一个趋势。

从拖拉机市场发展趋势来看，各主要国家的市场对拖拉机产品的功率增长要求也越来越高。在拖拉机功率普遍增长的趋势中，从技术上来看，各公司主要系列拖拉机的大部分机型的发动机均装有功率增加机构，这与拖拉机的行驶速度和动力输出轴功率有密不可分的关系。单是这一项技术就可以使当今生产的所有拖拉机的功率平均值增大6%～17%。为了更为直观地了解国外主要拖拉机销售国家大功率拖拉机的发展情况，现将几个国家近5年来73.5kW及以上拖拉机的销售发展情况简要介绍如下：

（1）德国　在2006—2010年间，德国国内市场的拖拉机销量一般保持在2.3万～3.5万台之间，总体上呈先降后升再降的波浪式发展趋势。2006年德国拖拉机产品的市场销售量为29 015台，2007年，拖拉机销售量减为28 451台，与2006年相比减幅为1.94%。到2008年拖拉机的销售量又增长为31 250台，与2007年相比涨幅为9.84%。随后两年的市场销售量又出现逐年下降的趋势，发展到2010年拖拉机的销售量减少为28 587台，与2008年相比减幅为8.52%。

在每年销售的拖拉机中，功率在75kW以上的机型的销售量占其总销售量的48%～56%。如2006年，德国共销售拖拉机29 015台，其中74kW及以下的机型为14 840台，占总销售量的51.15%，75kW及以上的机型为14 175台，占48.85%；2008年，德国共销售拖拉机31 250台，其中74kW及以下的机型为13 492台，占总销售量的43.17%，75kW及以上的机型为17 758台，占56.83%；发展到2010年，德国共销售拖拉机28 587台，其中74kW及以下的机型为14 015台，占总销售量的49.03%，75kW及以上的机型为14 572台，占50.97%（图6-6）。

在其销售的75kW及以上的拖拉机中，功率在110kW以上的机型所占比例

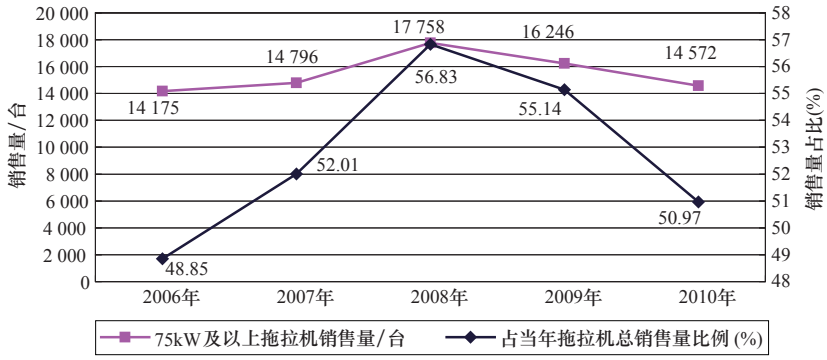


图 6-6　德国 2006—2010 年销售 75kW 及以上拖拉机占当年总销售量比例

逐年增长。如 2006 年，在销售的 14 175 台 75kW 及以上的拖拉机中，110kW 以上的机型为 6 271 台，占这一功率段的 44.24%；2008 年，110kW 以上的机型为 9 921 台，占这一功率段的 55.87%；发展到 2010 年，110kW 以上的机型为9 795 台，占这一功率段的 67.21%。

（2）法国　在 2006—2010 年期间，法国国内市场销售拖拉机在 31 312 ~ 43 661台之间，总体上呈现先升后降的发展趋势。2006 年，法国拖拉机销售量为 35 165 台，到 2008 年，法国的拖拉机销售量增长为 43 661 台，与 2006 年相比涨幅达到 24.16%。随后两年的市场销售量逐年减少，发展到 2010 年，法国的拖拉机销售量减为 31 312 台，与 2008 年相比减幅达到 28.28%。

法国在每年销售的拖拉机中，功率在 73.5kW 及以上的机型销售量占其总销售量的 55% ~62%。如 2006 年，法国共销售拖拉机 35 165 台，其中 73.5kW 以下的机型为 15 665 台，占总销售量的 44.55%，73.5kW 及以上的机型为 19 500 台，占 55.45%；2008 年，法国共销售拖拉机 43 661 台，其中 73.5kW 以下的机型为 16 594 台，占总销售量的 38.01%，73.5kW 及以上的机型为 27 067 台，占 61.99%；发展到 2010 年，法国共销售拖拉机 31 312 台，其中 73.5kW 以下的机型为 13 162 台，占总销售量的 42.03%，73.5kW 及以上的机型为 18 150 台，占 57.97%（图 6-7）。

在其销售的 73.5kW 及以上的拖拉机中，功率为 110.3 ~131.6kW 和 132.4kW 及以上两个大功率机型的销售量所占比例呈现为逐年增长趋势。如 2006 年，在销售的 19 500 台 73.5kW 及以上的拖拉机中，110.3 ~131.6kW 功率段的销售量为 3 342台，占这一功率段的 17.14%，132.4kW 及以上机型为 1 617 台，占这一功率段的 8.3%。2008 年，在销售的 27 067 台 73.5kW 及以上的拖拉机中，110.3 ~

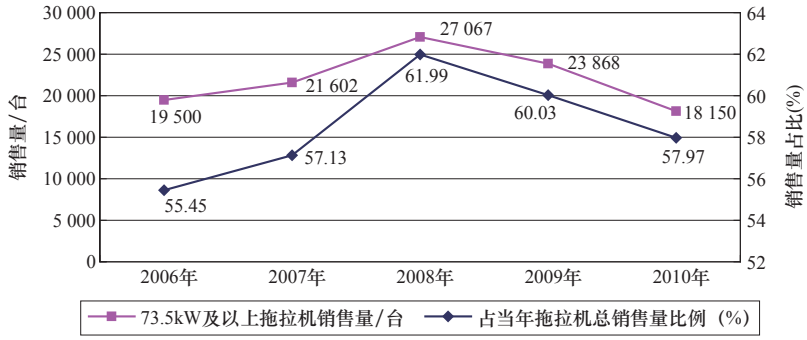


图 6-7　法国 2006—2010 年销售 73.5kW 及以上拖拉机占当年总销售量比例

131.6kW 功率段的销售量为 4 670 台，占这一功率段的 17.25%，132.4kW 及以上机型为 5 859 台，占这一功率段的 21.65%。发展到 2010 年，在销售的 18 150 台 73.5kW 及以上的拖拉机中，110.3～131.6kW 功率段的销售量为 3 507 台，占这一功率段的 19.32%，132.4kW 及以上机型为 3 453 台，占这一功率段的 19.02%。

（3）加拿大　加拿大在 2006—2010 年期间的农用轮式拖拉机年销量保持在 2.16 万～2.87 万台之间，市场销量总体上呈现先升后降的发展趋势。加拿大销售的拖拉机中，两轮驱动型（加拿大和美国一样，将前轮小后轮大的四轮驱动拖拉机均统计为两轮驱动）产品销量呈逐年增长的趋势，而四轮驱动型（前后轮一样大的大型拖拉机）产品的市场销量呈缓慢下降的趋势。

2006 年，加拿大共销售拖拉机 21 632 台，其中两轮驱动型为 20 977 台，占总销量的 96.97%，四轮驱动型为 655 台，占总销量的 3.03%。随后两年市场销售量呈现逐年增长的趋势，到 2008 年销售总量达到 28 712 台（同比增长 32.73%），其中两轮驱动型为 27 502 台（同比增长 31.11%），占总销量的 95.79%，四轮驱动型为 1 210 台（同比增长 84.73%），仅占 4.21%；发展到 2010 年，市场销售总量达到 22 820 台（同比减少 20.52%），其中两轮驱动型为 21 478 台（同比减少 21.90%），占总销量的 94.12%，四轮驱动型为 1 342 台（同比增长 10.91%），占总销量的 5.88%。

在加拿大每年销售的拖拉机中，73.5kW 及以下机型所占总销售量的比例为 75%～80%，且每年所占比例呈现逐年下降的趋势，而 73.5kW 以上的机型销售量所占总量的比例则为 20%～25%（图 6-8），且每年所占比例呈现逐年上升的趋势。如 2006 年，加拿大共销售拖拉机 21 632 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 17 242 台，占总销售量的 79.71%，73.5kW 以上的机型为 4 390 台，占

20.29%；2008 年，加拿大共销售拖拉机 28 712 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 22 913 台，占总销售量的 79.80%，73.5kW 以上的机型为 5 799 台，占 20.20%；发展到 2010 年，加拿大共销售拖拉机 22 820 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 17 237 台，占总销售量的 75.53%，73.5kW 以上的机型为 5 583 台，占 24.47%。

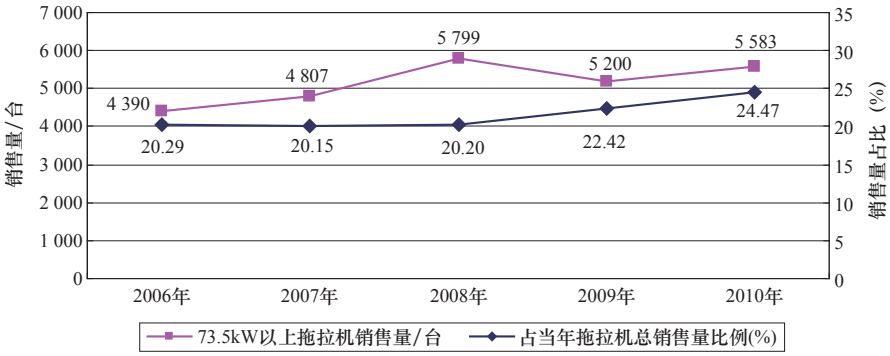


图 6-8　加拿大 2006—2010 年销售 73.5kW 以上拖拉机占当年总销售量比例

（4）美国　在 2006—2010 年期间，美国的农用轮式拖拉机年销售量保持在 15.5 万 ~21.8 万台之间，总体上呈现先升后降再升的发展趋势。2006 年，美国共销售轮式拖拉机 217 565 台，其中两轮驱动型为 214 577 台，占当年总销量的 98.62%，四轮驱动型为 2 988 台，仅占总销量的 1.38%（美国市场销售的两轮驱动拖拉机实际上为前轮小、后轮大的双轴驱动型拖拉机，为通常讲的四轮驱动，销售的四轮驱动实际上为前、后轮一样大的大功率型四轮驱动拖拉机，真正意义上的两轮驱动拖拉机极少）；2007 年，拖拉机销售量涨为 218 607 台（与 2006 年相比增长 0.48%），其中两轮驱动型为 214 943 台（同比增长 0.17%），占销售总数的 98.32%，四轮驱动型为 3 664 台（同比增长了 22.62%），占总销售量的 1.68%。随后两年，美国拖拉机市场销售量呈现逐年下降的趋势，到 2009 年，美国共销售农用轮式拖拉机 155 541 台（与 2007 年相比减少 28.85%），其中两轮驱动型为 151 027 台（同比减少 29.74%），占总销量的 97.09%，四轮驱动型为 4 515 台（同比增长 23.19%），仅占总销量的 2.91%。发展到 2010 年，美国共销售农用轮式拖拉机 165 253 台（与 2009 年相比增长 6.24%），其中两轮驱动型为 159 463 台（同比增长 5.59%），占总销量的 96.49%，四轮驱动型为 5 790 台（同比增长 28.27%），仅占总销量的 3.51%。

在美国每年销售的拖拉机中，73.5kW 及以下的机型所占总销售量的比例为

80% ~90%，且每年所占比例呈现逐年下降的趋势，而 73.5kW 以上机型销售量所占总量的比例则为 10% ~20%，且每年所占比例呈现逐年上升的趋势（图 6-9）。

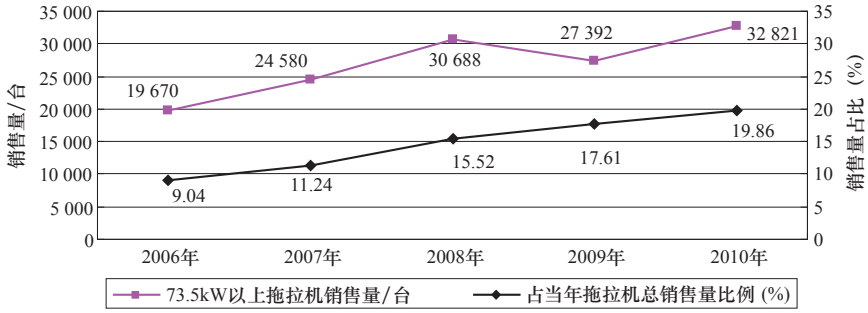


图 6-9　美国 2006—2010 年销售 73.5kW 以上拖拉机占当年总销售量比例

如 2006 年，美国共销售拖拉机 217 565 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 197 895 台，占总销售量的 90.96%，73.5kW 以上的机型为 19 670 台，占 9.04%；2008 年，美国共销售拖拉机 197 740 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 167 052 台，占总销售量的 84.48%，73.5kW 以上的机型为 30 688 台，占 15.52%；发展到 2010 年，美国共销售拖拉机 165 253 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 132 432 台，占总销售量的 80.14%，73.5kW 以上的机型为 32 821 台，占 19.86%。

（5）巴西　进入 21 世纪后，随着其经济危机的结束，巴西国内拖拉机市场启动速度加快，从 2006—2010 年，其轮式拖拉机市场的销售量（含国产和进口机型）在 20 141 ~55 709 台之间，总体上呈现逐年增长的发展趋势。2006 年，巴西共销售轮式拖拉机 20 141 台，2008 年销售量增长为 41 966 台，同比涨幅为 108.36%；发展到 2010 年，巴西国内轮式拖拉机市场销售量达到 55 709 台，与 2008 年相比涨幅达到 32.75%。

巴西在每年销售的轮式拖拉机中，功率在 73.5kW 及以上的机型销售量占其总销售量的 24% ~42%（图 6-10）。如 2006 年，巴西共销售轮式拖拉机 20 141 台，其中 73.5kW 以下的机型为 12 909 台，占总销售量的 64.09%，73.5kW 及以上的机型为 7 232 台，占 35.91%；2008 年，巴西共销售轮式拖拉机 41 966 台，其中 73.5kW 以下的机型为 24 230 台，占总销售量的 57.74%，73.5kW 及以上的机型为 17 736 台，占 42.26%；发展到 2010 年，巴西共销售轮式拖拉机 55 709 台，其中 73.5kW 以下的机型为 38 599 台，占总销售量的 69.29%，

73.5kW 及以上的机型为 17 110 台，占 30.71%。

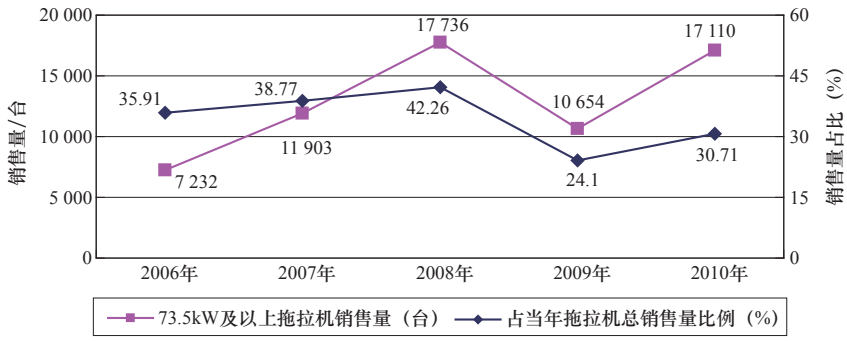


图 6-10　巴西 2006—2010 年销售 73.5kW 及以上拖拉机占当年总销售量比例

在其销售的 73.5kW 及以上的拖拉机中，功率在 147.1kW 及以上的大功率机型的销售量所占比例呈现逐年增长的趋势。如 2006 年，在销售的 7 232 台 73.5kW 及以上的拖拉机中，147.1kW 及以上机型为 157 台，占这一功率段的 2.17%；2008 年，在销售的 17 736 台 73.5kW 及以上的拖拉机中，147.1kW 及以上机型为 654 台，占这一功率段的 3.69%；发展到 2010 年，在销售的 17 110 台 73.5kW 及以上的拖拉机中，147.1kW 及以上机型为 963 台，占这一功率段的 5.63%。

（6）俄罗斯　俄罗斯在 2006—2010 年期间，拖拉机市场销售量总体上呈现先升后降再升的发展趋势。如 2006 年，俄罗斯拖拉机销售量为 13 000 台；2007 年其销售量增长到 14 800 台，与 2006 年相比，涨幅达到 13.85%；到 2008 年拖拉机销售量下降为 13 419 台，与 2007 年相比减少 9.33%；随后两年销售量连续上涨，发展到 2010 年其拖拉机销售量达到 20 980 台，比 2008 年增长 56.35%。

在俄罗斯每年销售的拖拉机中，73.5kW 及以下的机型所占总销售量的比例为 76% ~80%，而 73.5kW 以上的机型销售量所占总量的比例则为 20% ~24%。如 2009 年，俄罗斯共销售拖拉机 15 152 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 11 543台，占总销售量的 76.18%，73.5kW 以上的机型为 3 609 台，占 23.82%；发展到 2010 年，俄罗斯共销售拖拉机 20 980 台，其中 73.5kW 及以下的机型为 16 704 台，占总销售量的 79.62%，73.5kW 以上的机型为 4 276 台，占 20.38%。

2. 国外主要公司的经营发展情况

世界拖拉机制造工业在经过20世纪末21世纪初以来的大规模兼并、联合的重组过程后，形成了为数不多的一些大型跨国经营的农机制造公司，不论是就经营规模还是利润额等指标而言，它们都对世界拖拉机制造业的兴衰起着举足轻重的作用，其拖拉机产品的生产和市场销售，均直接影响着世界拖拉机工业的发展和产品市场的走向。

自21世纪初以来，面对世界拖拉机市场逐年萎缩和拖拉机工业极大的生产能力过剩，世界各主要拖拉机制造公司在激烈的市场竞争中，其产品的生产、产品的结构不断调整，公司改组和兼并每年都在进行，不少拖拉机公司因缺乏竞争力而被吞并，不少公司由于产品市场的销路不畅而被迫与同行联手，以求维持生存空间。除兼并重组外，不少公司还采取了在内部大规模裁员、关闭工厂或拍卖、缩减机构与规模，以集中力量于核心产业，广泛寻求公司间的生产合作与渗透，以期减少投资，降低风险，增加批量，提高效率。大部分公司把拓展产品市场份额，作为整个公司经营活动的首要出发点，广泛采取合作生产、委托制造、定牌制造，把尽可能多的产品纳入公司的品牌之下，以保持和拓展市场的占有率。及时相互渗透，相互利用其优势。如利用其他公司的营销网络推销公司的产品，如兼并部分产品补齐产品链，在激烈的市场竞争中求得生存和发展。

近年来，随着世界性金融危机的爆发，国外各主要拖拉机生产公司的经营也受到了影响，其经营业绩出现了不同情况。从分析的总体情况来看，度过2009年短暂的下滑后开始增长，这表明拖拉机市场的需求仍处于刚性增长态势。

（1）约翰迪尔公司（John Deere） 2006年的营业总额为221.5亿美元（其中农机销售额为102.3亿美元），其利润额为16.9亿美元；2008年增长为284.4亿美元（其中农机销售额为166.1亿美元），同比增长28.40%（农机销售额增长62.37%），其利润额为20.5亿美元，同比增长21.30%；2009年减为231.1亿美元（其中农机销售额为181.2亿美元），同比减少18.74%（农机销售额增长9.09%），其利润额为7.7亿美元，同比减少62.44%；发展到2010年增长为260.1亿美元（其中农机销售额为198.7亿美元），同比增长12.55%（农机销售额增长9.66%），其利润额为18.7亿美元，同比增长142.86%。

（2）凯斯纽荷兰公司（CNH） 2006年的营业总额为121.2亿美元（其中农机销售额为78.1亿美元），其利润额为2.9亿美元；2008年增长为173.7亿美元（其中农机销售额为129.0亿美元），同比增长43.32%（农机销售额增长

65.17%），其利润额为8.3亿美元，同比增长186.21%；2009年减为127.8亿美元（其中农机销售额为106.6亿美元），同比减少26.42%（农机销售额减少17.36%），其利润额为-2.2亿美元；发展到2010年增长为144.7亿美元（其中农机销售额为115.3亿美元），同比增长13.22%（农机销售额增长8.16%），其利润额为4.4亿美元。

（3）美国爱科集团公司（AGCO） 2006年的营业总额为54.4亿美元，其利润额为-0.7亿美元；2008年增长为84.3亿美元，同比增长54.96%，其利润额为4.0亿美元；2009年减为66.3亿美元，同比减少21.35%，其利润额为1.4亿美元，同比减少65.00%；发展到2010年增长为69.0亿美元，同比增长4.07%，其利润额为2.2亿美元，同比增长57.14%。

（4）德国克拉斯公司（Claas） 2006年的营业总额为23.5亿欧元，其利润额为0.8亿欧元；2008年增长为32.4亿欧元，同比增长37.87%，其利润额为1.7亿欧元，同比增长112.50%；2009年减为29.0亿欧元，同比减少10.49%，其利润额为0.7亿欧元，同比减少58.82%；发展到2010年再度减少为24.8亿欧元，同比降幅为14.48%，其利润额为0.5亿欧元，同比减少28.57%。

（5）意大利赛迈道依茨-法尔集团（Same Deutz-Fahr，SDF） 2006年的营业总额为10.4亿欧元，其利润额为0.4亿欧元；2008年增长为12.2亿欧元，同比增长17.31%，其利润额为0.05亿欧元，同比减少87.5%；2009年减为8.76亿欧元，同比减少28.20%，其利润额为-0.5亿欧元；发展到2010年再度减少为8.55亿欧元，同比降幅为2.40%，其利润额为-0.12亿欧元。

3. 赛迈道依茨-法尔集团近年来的发展及拖拉机产销量各功率等级情况简要分析

面对全球化竞争的形势，国外各拖拉机公司均力求以较少的投资，生产出功率覆盖面尽可能宽、品种档次尽可能多样化的产品系列，以满足不同的市场需求，这是近年来各大型拖拉机公司追求的一个重要目标。其实现方式是充分利用发动机功率的可扩展性和传动系统的可伸缩性，最大限度地从已有产品系列中派生新的系列和品种。目前，国外各大跨国拖拉机公司都拥有完整的包含大、中、小型农用轮式拖拉机的产品系列。以下就赛迈道依茨-法尔集团的发展进行简要介绍。

意大利赛迈道依茨-法尔集团的前身为赛迈（Same）公司。赛迈公司1993年开始购并德国克洛克纳·洪堡·道依茨（KHD）公司下属的道依茨-法尔（Deutz-Fahr）品牌拖拉机和联合收割机公司，1994年4月草签了购买协议，成立了赛迈道依茨-法尔集团，成为欧洲拖拉机和农业机械第二大生产厂家，购买合同包括了道依茨-法尔公司拖拉机和联合收割机全部系列产品的生产和销售权。新集团采取在产品技术发展上互补、在市场营销网络上共用的策略。整个集团的拖拉机产品形成18.4～194.9kW的完整系列，有利于市场开拓和提高产品的综合市场竞争力。

赛迈道依茨-法尔集团于1995年1月正式挂牌，按协议规定，原道依茨-法尔公司的产品牌号、生产管理以及销售机构仍保持相对独立。组建新集团后，按协议规定，赛迈道依茨-法尔集团就成为世界上单一生产农业机械的大型集团，其地位得到进一步巩固，从拖拉机的产量、产值以及销售额来讲，均成为欧洲范围内的第二大拖拉机和农机生产厂家，在世界上居第五位。

该集团总部设在意大利的特莱维奥（Treviglio）市，包括其董事会以及各职能管理机构。下设分公司（全资和控股公司）有：法国分公司，占有股份88%；德国伊比利亚（Iberica）分公司，占有股份99.12%；英国分公司，占有100%股份；赛迈分公司，兰博基尼（Lamborghini）分公司，占有100%的股份；葡萄牙分公司，占有99%的股份；卢森堡国际贸易公司，占有50%股份；美国分公司，占有100%的股份；道依茨-法尔分公司，占有100%股份；萨姆·格瑞伍兹（Same Greavrs）印度分公司，占有50%的股份。

另外，赛迈道依茨-法尔集团在远东和中美以及地中海地区也设立了销售代理机构，在泰国设有办事处。萨姆·格瑞伍兹印度分公司是近两年建立的专门从事拖拉机和发动机生产与销售的合资公司，其印方的撒帕尔（Thapar）工业集团是印度最大的工业集团之一。

该公司生产拖拉机的主要工厂为：意大利特莱维奥（Treviglio）厂、德国劳英根（Lauingen）厂、波兰卢布林（Lublin）厂和瑞士Hurlimann厂，这几个工厂生产的拖拉机所用发动机、传动系以及前、后桥和驾驶室均由特莱维奥厂提供。2000年，与印度格里夫斯（Greaves）公司合资建厂生产拖拉机（各占50%股份），主产18.4～55.1kW拖拉机产品，同年，在波兰卢布林市的Jackow镇投资8 000万马克建立一家拖拉机厂，主产18.4～33.1kW的拖拉机产品。2007年该公司又在中国大连市建立了一家独资拖拉机生产厂。

赛迈道依茨-法尔集团在2006—2010年间的经营情况呈先升后降的发展趋势。公司在近年来产品研发费用的投入额度，占其总销售额的2.0%～2.4%。2006年，赛迈道依茨-法尔集团投入的产品研发费用总额为0.26亿欧元，而到2008年投入的产品研发费用总额为0.29亿欧元，比2006年的费用增长了11.54%。但发展到2010年，投入的产品研发费用总额为0.20亿欧元，比2008年的费用减少了31.03%。

赛迈道依茨-法尔集团在2006—2010年的拖拉机产销量保持在2.3万～3.3万台，总体上呈现逐年下降的发展趋势。2006年，赛迈道依茨-法尔集团拖拉机产销量为33 322台，2008年拖拉机产销量减为32 487台，同比减少2.51%，到2010年其产销量再度减为23 068台，同比减少28.99%。

从其统计数量来看，赛迈道依茨-法尔集团产销的拖拉机中，主要是37.5～73.5kW和74.3～110.3kW这两个功率段的产品。如在2006年产销的拖拉机中，36.8kW以下的机型为3 681台，占总产销量的11.05%；37.5～73.5kW的为20 826台，占62.50%；74.3～110.3kW的为7 540台，占22.63%；111～147.1kW的为976台，占2.93%；147.1kW以上的机型为299台，占总产销量的0.90%。

2008年，其产销的拖拉机中，36.8kW以下的机型为1 934台，占总产销量的5.95%；37.5～73.5kW的为20 385台，占62.75%；74.3～110.3kW的为8 056台，占24.79%；111～147.1kW的为1 534台，占4.72%；147.1kW以上的机型为578台，占总产销量的1.78%。

2010年，其产销的拖拉机中，36.8kW以下的机型为1 970台，占总产销量的8.54%；37.5～73.5kW的为14 720台，占63.81%；74.3～110.3kW的为3 908台，占16.94%；111～147.1kW的为2 229台，占9.66%；147.1kW以上的机型为235台，占总产销量的1.02%。

发展到2010年，赛迈道依茨-法尔集团旗下有4个拖拉机品牌、38个拖拉机产品系列、共123种机型，其功率范围为14.8～198kW。其中赛迈公司现有14个农用拖拉机产品系列、47种机型，功率范围为28.5～198kW。道依茨-法尔公司现有12个农用拖拉机产品系列、32种机型，功率范围为18.4～193kW。兰博基尼公司现有7个拖拉机产品系列、28种机型，功率范围为28.5～157kW。Hurlimann公司现有5个拖拉机产品系列、16种机型，功率范围为39～93kW。

4. 国外大功率拖拉机市场发展趋势

（1）73.5kW 及以上拖拉机的销售量呈现逐年增长趋势　根据以上几个国家大功率拖拉机市场销售量的发展来看，在最近几年，国外部分国家 73.5kW 及以上拖拉机的销售量呈现增长趋势。如美国在 2006 年共销售 73.5kW 及以上的拖拉机 19 670 台，到 2010 年销售量达到 32 821 台，同比增幅为 66.86%；2006 年法国共销售 73.5kW 及以上的拖拉机 19 500 台，到 2009 年销售量达到 23 868 台，同比增幅为 22.40%；巴西在 2006 年共销售 73.5kW 及以上的拖拉机 7 232 台，到 2010 年销售量达到 17 110 台，同比增幅为 136.59%。

（2）部分国家 147.1kW 及以上拖拉机销售量出现大幅增长趋势　随着一些国家农业机械化的发展，农场面积越来越大，其 147.1kW 及以上超大型拖拉机的销售量在近年来也出现大幅增长的趋势。如德国在 2008 年 147.1～184kW 拖拉机销售量为 1 619 台，184kW 以上机型为 1 764 台，发展到 2010 年 147.1～184kW 拖拉机销售量为 1 669 台，184kW 以上机型为 1 867 台，同比分别增长 3.09% 和 5.84%；法国在 2006 年销售的大功率拖拉机中 132.4kW 及以上的机型为 1 617 台，2010 年达到 3 453 台，同比增长 113.54%；巴西在 2006 年销售的拖拉机中 147.1kW 及以上的机型销售量为 157 台，到 2010 年销售量达到 963 台，同比增长 513.38%。

（3）前后轮一样大的双排轮大功率拖拉机销售量呈现逐年增长趋势　国外前后轮一样大的双排轮拖拉机一般均为 183.8kW 及以上的机型，而这类拖拉机的主要市场在美国和加拿大以及俄罗斯等国家。近年来，这类产品的销售量也出现逐年增长的趋势。如 2006 年，美国这类拖拉机的销售量为 2 988 台，到 2010 年，销售量达到 5 970 台，同比增长 99.79%；加拿大 2006 年的销售量为 655 台，发展到 2010 年，其销售量达到 1 342 台，同比涨幅为 104.89%。

6.3　技术发展现状与趋势

6.3.1　国内大功率拖拉机技术结构发展现状与趋势

1. 国内大功率拖拉机各功率段技术结构发展

我国能够生产大功率拖拉机的公司已有数十家，产量较大的主要有：中国一拖、福田雷沃重工、约翰迪尔天拖、上海纽荷兰、东风农机、马恒达盐拖、河南千里和常发集团等公司。

当前，我国生产的大功率轮式拖拉机的技术结构特点如下：

（1）58.8～66.2kW 轮式拖拉机　该功率段拖拉机产品的主要特点为：统一机罩，统一驾驶室，统一燃油箱，所有油箱均采用滚塑产品，降低成本；尺寸大，外形美观。

大部分机型装用涡轮增压柴油机、啮合套换挡变速箱，采用强制压力润滑，保护齿轮及轴承；有的也采用 12＋6 挡变速箱，传动箱由滑动齿轮换挡改为啮合套换挡，增加齿宽提高齿轮强度。有的机型采用 20＋20 挡（带爬行挡）变速箱，带动力换向，可选装中部液压输出装置，液压提升及输出系统的基本选用分油、开心式液压系统。

（2）73.5～95.6kW 轮式拖拉机　该功率段拖拉机的主要结构特点为：主副离合器、前驱动、差速锁全部采用电控液压操作，转向盘角度可调。

装用 12＋12 挡变速箱，同步器换挡及手柄（主副变速杆、换向手柄）全部布置在右边，便于操作。有的机型装用 16＋16 挡变速箱，梭式换挡底盘，斜齿轮传动。并装用进口 LUK 加强型离合器、选装 CARRARO 前驱动桥，液压提升及输出系统基本选用分油、开心式液压系统。

（3）95.6～147.1kW 轮式拖拉机　这一功率段的拖拉机多装用六缸、直列、水冷、涡轮增压或增压中冷发动机，也有装用增压水空中冷发动机的。

大部分机型均装用机械换挡变速箱，多为啮合套换挡，可选装同步器换挡；挡位多为 12＋4，最高速度在 30km/h 左右；离合器为独立操纵双作用；制动器多为湿式盘式；一部分拖拉机，如常发 1404 型拖拉机上所装变速箱的前进挡为 5×4×2，后退挡为 5×3×2，挡位较多。

大多数拖拉机的液压系统为开心系统，液压提升泵布置在发动机上或变速箱上，液压输出方面差别不大，基本上为 3 路输出；具有动力换挡换向功能的车型采用高低压两个控制油路，高压油路控制液压转向、液压提升、液压输出及选装的液压拖车制动功能，低压油路控制动力换挡、换向所需的所有湿式离合器磨片的结合与分离。

（4）147.1kW 以上拖拉机　147.1kW 以上拖拉机基本上均选用电控高压共轨涡轮增压发动机，发动机功率大、油耗低，可满足 Tier Ⅲ排放要求；整机普遍采用电控全动力换挡传动系、电液控制差速锁、自锁式前驱动桥、低压润滑与控制、电控负载传感、智能监测与控制等先进技术，液压系统全部采用闭心负载传感液压系统，电控多路阀进行液压提升的操作；3～6 路液压输出；全液压

转向。

但是，147.1kW 以上国产拖拉机技术水平明显低于进口拖拉机水平，尤其在电控技术的运用上表现较为突出。

2. 发展趋势

在今后一段时期，我国大功率轮式拖拉机产品总的技术发展趋势仍将在以下几个方面：

（1）大功率拖拉机系列的划分将更加细化　即每个系列将派生出 1～2 个系列，将有大功率拖拉机变型产品问世。产品结构形式仍将以四轮驱动型为主。

（2）发动机功率将继续增大　重点发展增压及增压中冷发动机，排放和噪声等环保指标达到先进国家标准，同时配套动力向大缸径发展的机型。发动机的所有技术进步均以有利于环保和节能为前提，拖拉机柴油机的排放要求将越来越严格，“节能、环保”将成为市场销售的新卖点；全动力换挡变速箱将作为拖拉机的标准装备，无级变速传动系统将得到广泛开发研究。

（3）拖拉机电子技术的应用更为广泛　在现有产品部件应用的基础上，将在无级变速传动系统、动力换挡的动力输出轴、静液压转向器、负荷传感系统、液压悬挂系统、前置动力输出轴和前置提升器等部件上广泛采用电子技术。

（4）适应生态农业、保护性耕作、集约化与无公害等可持续发展农业的需要　以全球卫星定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）与卫星遥感系统（RS）等为代表的高新技术在大功率拖拉机上的应用将是今后的主要发展方向。

（5）加强新材料、新工艺的研究开发　主要以工程塑料、奥氏体-贝氏体球墨铸铁、蠕墨铸铁等新材料在拖拉机上的应用为主。

（6）人机工程研究和机电液一体化研究加快　首先在降低噪声、减振、操作舒适性、机具配套效率、多功能用途等方面开展研究；随着国内技术的发展，逐渐加强对传动系统、液压提升系统、电子控制系统等高新技术的研究。

6.3.2　国外大功率拖拉机技术结构发展现状与趋势

近年来，国外大功率拖拉机制造业以电子信息技术为先导，在计算机故障诊断与监控、精确定位与作业、发动机燃料燃烧控制和人机工程学等方面，进行了大量的研究，使拖拉机向信息化智能化方向大步前进，提高了拖拉机的高科技含量，促进了拖拉机新技术和新结构的发展。

1. 国外产品技术

20 世纪 90 年代以来，国际拖拉机工业进入了现代化发展的新阶段。国外各主要农业机械公司均致力于产品的环保和节能以及电子与信息技术的应用发展，并由此形成了一些主要的发展特征和突出的发展领域。如：拖拉机产品的系列化更加全面和完善；拖拉机的平均功率仍在提高，大中型轮式拖拉机产品成为应用新技术、采用新结构的主要载体；电子和信息技术作为新技术应用的重点，其实用化的范围已有很大扩展；在传统的整机结构形式保持相对稳定的情况下，主要部件的新结构、新技术每年都有所发展。

以著名的拖拉机制造企业如美国约翰迪尔公司、美国凯斯纽荷兰公司、美国爱科公司等为代表的国际拖拉机技术的发展，以其批量生产的主导机型为基础，通过引入先进适用技术，不断改进、扩展或派生出新的产品系列，拓宽主导产品的用途和功能，在更大范围内占领市场。如凯斯纽荷兰公司于 2006 年推出的 New Holland T7000 系列和 CASE PUMA 系列产品就是在原产品系列基础上，通过引入先进的电子控制技术、人机工程技术以及独创的驾驶室和外观造型等而开发的目前国际上最新和最为先进的产品。大功率拖拉机通过采用电子控制、计算机仿真以及试验优化等先进技术，使整机性能以及拖拉机与作业机具组合、机组性能得到最优匹配，配套高速、宽幅作业机具，一次能够完成灭茬、深松、旋耕、靶地等联合耕整地机具以及苗床整备、播种、施肥等复式作业机具，实现了面向生产作业全过程的节能、高效。产品功能进一步拓展，机电液一体化、电子控制技术的应用更为普及，以高效节能、安全环保和更具人性化为目标的产品技术日趋成熟并得到广泛应用，其关键技术重点体现在以发动机、拖拉机底盘的动力换挡变速箱和负荷传感液压悬挂系统、总线控制等为应用对象的电子技术的综合应用上，人机工程技术在大功率轮式拖拉机上得到了充分体现。

（1）整机　拖拉机整机目前多采用整体流线型外观；整机重量分配中前桥占的比例增大，已接近或超过 50%，适合重负荷牵引作业或悬挂大型复式机具；大容量燃油箱布置在拖拉机左侧车梯下，发动机水箱前部集中布置可依次翻转打开的空空中冷器、传动系及液压系散热器、空调冷凝器、前 PTO 散热器等，各散热器经过精心设计及匹配试验，维修保养很方便。同时，拖拉机的可靠性非常高，基本可达到 10 000h 不大修。

（2）发动机　顺应追求低油耗、低排放和低噪声的技术发展趋势，进一步改进燃烧室并全面采用电子控制喷油系统及转速调节器的直喷柴油机已成为配套

动力的主流。涡轮增压和中冷技术的应用也更为普遍，恒功率发动机已在大功率机型上采用。4 气门技术的应用迅速增加，同时开始应用 EPM（Engine Power Management）发动机功率管理系统，可以根据拖拉机的负荷及速度调节发动机的参数，从而降低燃油消耗，排放可满足非道路欧Ⅲ或更高要求。同时，由于近年来欧洲柴油价格上涨，迫使农场主选择燃油经济性更好的拖拉机甚至使用相对便宜的生物燃料替代柴油。发动机风扇转速及风扇角度根据水温状况可自动调整。发动机不但有较大的转矩储备（一般在 30% 以上，最高达 50%），还有一定的功率储备。另外还采用所谓的 Power Boost 技术，即拖拉机进行 PTO 输出或运输作业时，发动机油泵通过电控技术可提供不同的供油曲线，使得拖拉机功率增大 8% ~10%。

（3）传动系　负载换挡传动系（Powershift）应用范围大为扩展，中小功率拖拉机采用动力换挡变速箱已很普遍，采用全动力换挡的产品也越来越多。电、液控制技术日益成熟，其应用已扩展至包括变速箱、差速锁、前后桥、动力输出轴在内的整个传动链。控制方式从模拟信号控制向全数字化控制转变，采用 CAN 总线控制系统，实现对发动机、传动系、液压系等子系统的集成化监测与控制的产品也已出现。无级变速传动系（CVT）的研制开发和在大功率拖拉机上的应用有了重大突破。

（4）液压悬挂系　负荷传感技术（Loading-Sensing）的开发，使电、液控制的悬挂系统在中大功率机型上得到普遍应用，除提升和下降位置，提升和下降速度，力、位及综合调节，灵敏度等以外常规功能的控制均采用了旋钮式操作，配备前、后液压悬挂装置的产品越来越多，且普遍采用快速挂接装置。为满足不断发展的现代农具使用要求，液压输出至少有 3 组后置，液压输出的压力和流量可根据匹配的不同农具需要进行调节，系统流量和提升力也不断增大。

（5）行走与转向系　采用弹性悬架前后桥及具有所谓“超级转向能力”的前桥，转向盘的转角与拖拉机前后桥差速锁之间设计有控制关系，前轮转向角通常为 55°甚至达到 65°，为达到大的转向角不惜花费大量成本采用形状相对复杂的车架或托架。为提高附着能力、降低接地比压、降低行走噪声，多采用低高宽比截面的子午线轮胎，轮胎花纹也经过特殊设计。

（6）驾驶室、座椅及操纵机构　人机工程学在驾驶室、座椅及操纵机构件的结构技术上获得了长足发展。驾驶室多为四立柱或六立柱整体焊接式结构，与拖拉机的连接处充填或隔以减振降噪材料，内饰采用吸声材料，采用平地板、双

开门、无框门窗、落地式或大面积曲面染色挡风玻璃，采用多速通风、进气滤清、有内压、有采暖及可选装空调系统。驾驶座椅一般具有减振功能，角度和高度可调，转向盘倾角和高低可调，室内驾驶员耳旁噪声已降至 72～78dB（A），相当于轿车水平。

（7）微电子和微机技术的应用　随着电子及信息技术的迅速发展，微电子和微机技术在国外农业机械上得到了越来越广泛的应用，拖拉机性能监测、显示及数据处理、液压悬挂调节控制、变速箱及传动系控制等方面，出现了越来越多的电子设备和控制系统，使农机产品的功能和性能得到了很大提高。例如拖拉机上的电子控制系统由最初简单的液压悬挂系统电液控制发展成为发动机控制、动力换挡系统、前驱动桥控制、前后桥差速锁、前后动力输出轴、离合器、电控负荷传感液压系统、农具辅助操纵系统以及无级变速传动系统、主动/半主动悬架系统、轮胎气压自动调节、机器视觉、GPS 及精准农业配套变量投放控制等的集成控制。可以说电子控制技术也已经贯穿整个作业机组，并与农业生产的全过程相联系，由最初的在各个部件上实现独立功能向以采用标准化通信协议为核心的网络化分布式控制技术发展，与拖拉机控制技术相融合。

（8）产品设计手段　采用 CAD/CAE/CAM 及可靠性设计，加快了产品开发速度。产品设计模块化，使产品结构具有多样性，用户可根据自己的需要选用。核心部件的研究开发和生产专业化、社会化，出现了许多著名的拖拉机部件专业开发、生产企业，如美国德纳（DANA）公司、德国的采埃孚（ZF）公司、意大利的卡拉罗（Carraro）公司等，它们能够根据客户的不同要求，开发生产各种规格型号的拖拉机核心部件，其中仅各种拖拉机前驱动桥年产即可达约 20 万根。

2. 发展趋势

随着高新技术的应用和电子信息技术对产品和生产技术的渗透，国外拖拉机技术今后的发展趋势将具有以下几方面的特点：

1）拖拉机及配套机具的产品系列划分将更加细化，变型产品品种越来越多。

2）大中型拖拉机的发动机功率将继续增大，4 缸和 6 缸机将普遍采用增压和中冷技术；发动机的所有技术进步均以有利于环保和节能为前提，农业机械用柴油机的排放要求将越来越严格；代用燃料的研究将进一步得到发展。

3）全动力换挡变速箱将作为拖拉机标准装备，液压无级传动系得到广泛应

用，高速（50km/h）拖拉机将越来越多。

4）拖拉机机电液一体化水平将进一步提高，负荷传感式液压系统将普遍应用。

5）以卫星全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、卫星遥控系统（RS）及机器视觉技术等为代表的高新技术在大中型拖拉机上的应用将是今后一段时间的主要发展方向，无人驾驶拖拉机陆续问世。英国 Siloe 研究中心研制的机器视觉导航自动锄草设备已经推出商业化产品，日本北海道大学与生物系特定产业技术研究推进机构（生研机构）联合研制的无人驾驶农业机械已实现了田间插秧和喷洒农药的自动操作。

6）提高机械性能和使用方便性，拖拉机将更为广泛地采用计算机技术，实现作业自动监视与报警、自动控制、自动监测主要工作部件故障、自动记录和自动排除故障等。

7）拖拉机产品的质量和可靠性将进一步提高。为了确保产品质量，拖拉机产品设计将普遍采用计算机辅助设计/计算机分析（CAD/CAE）及可靠性设计等现代化设计技术，整机造型和外观质量将更加受到重视。

8）在拖拉机产品生产过程中广泛采用先进制造技术，如激光自动切割机、自动焊接机器人、涂装机器人及数控柔性加工中心与自动装配线等，部件检测、整机测试成为保证质量的必备手段。

6.4 存在的问题分析

6.4.1 整机可靠性与国际先进水平差距加大

可靠性工作是综合反映产品设计水平、制造水平、零部件配套性能等的一项基础技术工作；由于国内制造水平、材料工艺、零部件配套等领域的发展水平与国外先进水平相距较大，因此造成大功率拖拉机的可靠性与国外先进水平相比差距也较大，产品大修期以及平均无故障期等产品的可靠性指标，国内产品水平大体相当于国外同类产品的 1/4 ~ 1/3。

6.4.2 整机技术的发展与国际先进水平还有一定距离

多年来，我国农机行业主要精力放在中小型产品技术上，导致大功率拖拉机技术缺失。国内大功率拖拉机产品技术整体水平较低，除个别大功率拖拉机产品

达到了国外同类产品的先进水平外，总体上看，尚处在发达国家 20 世纪 80—90 年代的水平，并且缺少具有自主知识产权的关键技术，缺乏核心竞争力，缺乏与国际标准接轨和参与研究制订标准，严重影响了国内行业技术发展和产品质量提升。

6.4.3 技术投入不足、缺乏基础创新平台

由于大功率拖拉机产品开发与技术研究前期投入大、周期长、见效慢，因此除少数大企业有一定的投入进行大功率拖拉机产品的开发与技术研究外，大多数企业均无技术投入。另外，整个行业缺乏大功率拖拉机试验、研究等创新平台，也制约着大功率拖拉机的技术研究和产品发展。

6.4.4 标准化工作亟待加强

由于大功率拖拉机产业化较晚、试验手段缺乏、技术水平落后，使得标准化工作与技术发展和产业化不同步，目前一些性能要求方面的标准中的技术指标只相当于国外 20 世纪 80 年代末 90 年代初的水平，现有的零部件标准多数只适用于中、小功率拖拉机，涉及大功率拖拉机零部件的标准亟待完善。目前有关大功率拖拉机产品的标准不能有效地引导产品技术进步。

6.4.5 制造工艺水平落后

目前，国内大功率拖拉机的制造工艺水平较国外先进水平有很大的差距，特别是在材料工艺、电子信息、关键零部件制造等方面尤为突出，这也严重地影响了大功率拖拉机的发展。

6.5 技术和产业发展思路与规划

坚持自主开发与国外技术引进相结合的开发模式，在关键技术、核心技术的掌控方面实现突破，开发具有自主知识产权的重大高端产品，加大与国际标准接轨的步伐，参与研究和制订国际标准，加快大功率拖拉机产业化的步伐。

未来几年内，应尽快完成覆盖 58.8 ~ 279.4kW 各功率段大功率拖拉机产品的生产准备，基本满足国内市场需求，积极开拓国际市场；完善大功率拖拉机试验研究平台建设，积极研制 294.1kW 功率段无级变速智能控制重型拖拉机等高端产品及技术。同时，应加快大功率拖拉机电控全动力换挡传动系、电液控制差

速锁、自锁式前驱动桥、低压润滑与控制、电控负载传感、智能监测与控制等先进技术的研究，加强大功率拖拉机基础技术的研究，争取关键部件的国产化生产，满足国内配套的需求。

6.5.1 重点任务

1. 大功率拖拉机关键技术研究

在机组匹配方面，研究与大功率拖拉机配套机组的匹配、控制等相关技术。在节能减排方面，研究大功率拖拉机节能减排、降噪、减振等技术，发动机排放满足非道路欧ⅢB 排放要求；减振降噪等人机工程水平达到国外 20 世纪末的水平。在整机可靠性方面，研究大功率拖拉机整机可靠性技术及可靠性设计方法，争取整机可靠性水平有明显进步。在电子信息方面，研究拖拉机智能化监测与控制技术，实现拖拉机及其机组各个子系统的协调和优化匹配，利用电子技术降低拖拉机油耗，提高牵引效率，增强作业的舒适性及安全性，改善可维修性。在试验及标准方面，建立大功率拖拉机试验中试基地，制订大功率拖拉机整机、关键零部件试验要求、技术规范等相关标准。

2. 大功率拖拉机制造与产业化技术

首先，产业化动力换挡传动系、前驱动桥等关键零部件。在电控全动力换挡传动系、电液控制差速锁、自锁式前驱动桥、低压润滑与控制、电控负载传感等大功率拖拉机产品的关键技术研究方面有所突破，争取动力换挡传动系、前驱动桥等关键零部件的产业化生产满足国内配套的需求。

其次，完成覆盖 58.8～279.4kW 各功率段的大功率拖拉机产品的产业化制造，基本满足国内市场需求，积极开拓国际市场。开展 294.1kW 功率段无级变速智能控制重型拖拉机相关技术研究，研发 294.1kW 功率段智能控制重型拖拉机。

6.5.2 对策建议

1）利用国家检测机构、专业的国家级实验室等技术平台，建立健全大功率拖拉机行业的质量监管体系，加强质量监管，对于具有行业共性的质量突出问题委托权威的科研机构和实验室进行联合攻关，将成果以标准或其他形式向全行业推广并监督企业执行，以提高产品质量。

2）利用技术中心、国家级实验室等技术平台，组织力量，对大功率拖拉机

共性技术进行研究。在对大功率拖拉机产品进行技术支持的基础上，加强对大功率拖拉机产业化工作的支持，通过技改等建立大功率拖拉机先进制造体系。

3）加强标准和可靠性方面的研究，并使这两项工作有机结合。开展大功率拖拉机关键零部件技术条件、总成技术条件和试验方法标准的研究；开展大功率拖拉机整机和零部件可靠性、安全性、能耗指标等的摸底试验研究和标准的制订。

4）进一步降低农业机械企业的增值税税率（以10%以下为宜），促进农机企业自我积累、自我发展。

第7章 收获机械

7.1 概述

收获机械是农业机械最重要的标志性产品之一，是实现农业生产的关键环节、完成功能最为复杂的设备，也是农业机械先进制造的重要产品。本章重点介绍水稻、小麦和玉米等粮食作物收获机械，青贮玉米和牧草等粗饲料作物收获机械，棉花、亚麻和甘蔗等经济作物收获机械，马铃薯、胡萝卜等根茎类作物收获机械，西红柿、辣椒等蔬菜类作物收获机械，葡萄、柑橘等果品类收获机械等的基本情况。

7.1.1 粮食作物收获机械的特殊地位与作用

水稻、小麦和玉米是人们不可缺少的主要食粮，也是工业和畜牧业等所需要的基础性重要原料，各国政府都十分重视粮食生产。全世界可耕地面积为140 166.7万 hm^2，而稻、麦和玉米三大粮食作物的播种面积占41%，由此可见，稻、麦和玉米种植的重要性。我国稻、麦和玉米三大粮食作物的种植面积达7 666.6万 hm^2，约占粮食种植面积的50%，占粮食总产量的80%以上，解决好主要粮食作物的机械收获问题具有重要的现实意义。

传统的粮食作物收获用工量占粮食生产总用工量的50%以上，机械收获效率要高、损失要少、人力强度和成本要低。发达国家20世纪60—70年代就实现了粮食作物生产的全程机械化。我国在主要粮食作物生产中，耕种基本实现机械化作业，收获方面在不同的作物、不同的特殊区域发展还不平衡。截至2011年，全国主要粮食作物耕种收综合机械化水平达到54.5%，其中小麦基本实现了全程机械化，玉米收获加快推进达到了33%，水稻收获发展快速达到67.5%，基本改变了面朝黄土背朝天的传统收获劳作方式，机械收获起到了促进生产、减轻劳动、减少损失、降低成本的多重作用。

1）机械收获效率高、时间短、不误农时。由于机械收获效率高、时间短，

能保证下季作物及时播种，为粮食丰收打下基础。由于收获及时，可避免自然落粒及虫、鼠等灾害造成的损失，特别是麦收和早稻收获季节，时逢雨季，如果收获不及时，往往会因阴雨天气造成部分籽粒发生霉烂或变质，使粮食品质下降或损失增加。同时高效率收获为抢茬种植提供了时间保障，这在我国土地资源稀缺的条件下，是满足总产量要求、提高复种指数不可或缺的保障。

2）提高秸秆利用率，增加农业综合效益。首先是茎秆切碎还田，增加土壤肥力，有利于作物增产。目前在大中型谷物联合收割机，尤其是玉米联合收割机上都装有茎秆处理装置，因联合收割机脱粒后的茎秆都比较长，如果直接排到田间，会影响下季作物播种，所以脱粒后的茎秆都需要进行切碎还田处理，这不仅可以增加土壤肥力，而且还可避免用户在田间燃烧茎秆造成环境污染；现在使用的半喂入联合收割机的茎秆可以切碎还田，也可以保留完整的茎秆，根据用户需要来选择还田或收集。另外，联合收割机在收获粮食籽粒的同时，附带有秸秆的收集功能，这有利于秸秆的养殖和生物质的综合利用。

3）机械收获可减少粮食损失，达到增产丰收。人工收获时，包括收割、运输、脱粒和清选等单体分离作业环节，一般损失率在5%左右，而机械收获损失率一般为1.5%～2.5%，就是说机械收获比人工收获减少损失50%左右。以水稻机械化收获起步时期为例，我国2004年水稻亩产量平均为420kg，人工收获每亩损失约18kg，而机械收获损失约为10kg，我国当年水稻种植面积约为4.3亿亩，如果全部实现机械收获，每年可减少粮食损失34亿kg，增加经济收入约32亿元，相当于增加水稻种植面积810多万亩。以2008年小麦基本实现收获机械化时期为例，使用联合收割机收获小麦与人工收获相比减少麦粒遗撒损失5%～8%，2008年“三夏”期间完成小麦机械收获2.63亿亩，减少小麦损失50多亿kg，按当年单产估算相当于当年增加小麦播种面积1 300万亩。因此，实现机械收获，对增加粮食产量、达到增产增收、增加农户经济收入都有显著的经济效益，对确保粮食丰收、数量安全具有巨大作用。

4）机械收获成本低、质量好。人工收获成本我国各地区大不相同，根据多数地区平均计算，一般人工收获每亩需40～50元，包括收割、装运和脱粒清选等费用。而对于机械收获，多数地区每亩收获费用为30～40元，比人工收获每亩降低10元左右，并且收获籽粒清洁度高，一般在98%以上，基本不需要再清选。而对于人工收获，脱粒后，仍需要再清选，才能达到入仓要求。如果全国水稻都实现机械收获，则每年可节省收获成本50多亿元。

5）实现机械收获，可节省大量青壮劳力，投入到工业生产。一台水稻联合收割机可以替代 200 多人的工作量。实现机械收获后，农村的大量青壮劳力可投入到农副业生产、乡镇企业或到城镇务工，不仅增加了经济收入，又缓解了乡镇企业和城镇工矿业劳力短缺的状况，有些青壮劳力经技术培训后，已成为城市工矿企业、建筑业中不可缺少的技术工人。更重要的是，进城务工的农村劳动力，能够安心于本职工作，利于工作的连续性，不再担心收获季节劳动力短缺的问题，这对增加农民收入和稳定企业的发展都具有十分重要的作用。

6）机械收获可培养新型农民，增加就业岗位，促进地区经济发展。对于收获机械生产企业来说，由于产量增加，提高了产值和增加了经济收入，同时也增加了生产人员，可安置的就业人员增加。另外，由于企业经济效益的增加，为地区提供了更多的税收，促进了地区的经济发展。由于实现机械收获，全国收获机械的销售、维修网点和零配件的生产厂增加，需要大量的生产和服务人员，可安置大量人员就业，改善他们的生活条件。跨区收获培养了作业机手，在作业服务中获得收益的同时，解放了他们的思想，增强了他们的市场意识，成为新型农民代表，带领当地农民发展经济。

7）促进相关行业发展。联合收割机是结构复杂、配套件较多的集机械、电子、液压、化工等技术于一身的机器，联合收割机的需求量不断增加，不仅促进了本行业的发展，也带动了电子、液压和化工行业的技术发展和经济效益的增加。配套件和电子、液压及化工件占联合收割机总成本的 20% ~25%，我国目前年产联合收割机 6 万 ~8 万台，所以对相关配套件的年需求量相当大，对这些相关行业的发展有重要作用。

7.1.2 青饲作物收获机械的特殊地位与作用

随着国民经济的快速发展，城乡居民的生活水平不断提高，对畜牧产品牛、羊肉类及奶制品的需求量迅速增加，它们已成为我国居民不可缺少的优质蛋白质来源，带来了青饲玉米和青饲麦类作物种植面积的逐年增加。目前除少数大中型农场和经济发达地区实现机械收获外，多数地区还是人工收获，不仅损失多、成本高，而且青饲作物的营养成分因延时收获而损失掉一部分，制约了草食畜牧业的规模化发展。

机械收获效率高，有利于保持青饲作物的品质。首先，适时收获能有效保护、保留青饲料的原有营养成分。而人工收获时间长，特别是青饲玉米收获期一

般在9—10月份，秋高气爽，水分和养料散失很快，延时收获往往会使大量水分和营养成分白白损失掉，影响饲喂效果。其次，机械收获能够保障青贮料品质。从收割直到切段作业基本都在机器内部进行，机器封闭性好，切段后物料直接抛送到集料车中，及时进行青贮。再次，保障青饲料的饲用质量。人工收获时用铡草机完成切段，切段长度参差不齐，不仅影响青贮料质量的一致性，而且影响饲喂效果，往往使较长的茎秆剩下来，造成浪费。机械收获能够根据用户要求切成长短不等的均匀段（一般分为4级和6级），切段长度基本一致，有利于与其他饲料均匀混合，提高了粗饲料的饲喂性和吸收率。青贮底料收获设备重点解决切碎收获、裹包贮藏等关键问题，在设备上形成适合不同区域的拖拉机配套式、自走式机型，在关键技术上重点研究异物识别、自磨刃、刀具材料、自动控制、智能导航等。

7.1.3 棉花、亚麻、甘蔗等优势经济作物收获机械的特殊地位与作用

1. 破解收获瓶颈，推动具有地域、经济竞争优势的棉花产业的发展

我国是世界上最大的产棉国之一，产量居世界第一位，同时又是用棉大国。棉花是纺织品的主要原料，也是国家的重要战略物资，棉花的供求状况，对经济形势有较大影响，历来受到国家和有关主管部门的高度重视。我国棉花种植区域主要在新疆和长江流域及黄淮海地区，特别是新疆地区因地理位置和气候条件优越，棉花产量高、质量好，种植面积占全国的1/4～1/3。棉花生产用工量大，尤其棉花采摘用工量约占棉花生产总用工量的60%，机械替代人工采棉显现出了极高的生产效率和经济性。第一，保障及时收获。实现机械采棉是一个系统工程，包括品种选育、栽培标准化、花蕾成熟期一致性等方面，我国新疆地区已经建立了较为完整的技术体系，但由于气候的多变性，每年因不能及时收获，造成部分棉花品质下降，还有部分棉花发生霉烂变质而损失掉。最近几年新疆地区使用机械采棉的经验证明，发展机械收获刻不容缓。第二，提高收获效率，降低棉花田间生产成本。手采棉每亩成本约150元（亩产300kg籽棉，手采每千克0.5元），机采棉包括机器折旧、人工费、油料费及维修费等，每亩机采成本约105元，每亩低于手采45元。第三，缓解劳动力不足和大量采棉工进疆带来的社会压力。每年到采棉季节，附近几个省都要组织大量的劳动力进疆，但是最近几年青壮年劳动力短缺，进疆采棉工替补不足。大量采棉工进疆，不仅给交通和社会治安带来很大压力，而且也给家庭和社会带来了极大的不安定因素。在先期新疆

建设兵团标准化、适合机械化采棉栽植技术的基础上，首先解决适合规模化需要的智能导航、采棉成模、棉模运输以及机群调度等大型成套技术和装备问题，逐步开发适合农户需要的中小型设备，再把适应品种、标准化种植规范、成套装备延伸至黄淮海棉区。

2. 发展特色纺织原料生产

亚麻是我国极具特色的作物，是亚麻制品和纺织行业的主要原料，其制品是我国经济作物中重要的具有竞争优势的出口创汇物资。我国亚麻的主要种植区域分布在东北、西北、湖南、江西、浙江、安徽等省区，种植面积约 1 000 万亩（约 64 万 hm^2）。其中，黑龙江省种植面积最多，达 200 多万亩（约 13 万 hm^2），每年平均增长 5 万亩（约 0.3 万 hm^2）。亚麻是农业生产倒茬增收的重要作物之一。亚麻种植收益高，每亩经济收益达 800 多元，是大豆等经济作物收益的 2 ~ 3 倍，是粮食作物收益的 3 ~ 4 倍。播种和收获环节是影响亚麻产量、纤维质量的关键环节，收获过程耗费的劳动量和劳动强度最大。缺乏机械成为影响亚麻种植业发展的难点之一。机械化收获效率是人工收获的 200 ~ 300 倍，收获成本降低 225 元/hm^2。以亚麻为重点，研究无损伤拔取、有序铺放、翻铺等技术，解决类似作物的收获难题。

3. 以机械收获代替甘蔗人工收获的强劳动

甘蔗是加工蔗糖的主要原料，分布在东南亚、欧美和我国南方等。甘蔗茎粗、节硬，属于多年生作物，收割宿根要求较高。发达国家已实现甘蔗收获机械化，主要以切段收获为主，这种方式与榨糖生产能力相匹配，通过收割机的机群调度，实现榨糖机的连续化协调工作。而我国目前主要靠人工完成收获，劳动强度大、用工量多、生产效率低、成本高，收获时经常出现甘蔗茎叶损伤身体的情况。造成这种现状的根源主要有以下几个方面：第一，小农经济生产，种植与收割缺乏有效配套，缺乏收获与榨糖之间的统筹协调；第二，榨糖生产能力受到限制，收获季节处理能力不足，依靠整秆收获暂时储存，防止糖分损失；第三，我国甘蔗主要种植在广东和广西沿海，受到季节性台风影响，倒伏现象严重，造成机械收获难。目前我国甘蔗收获主要以切段式和整秆式为主，收获的同时要求排除大量的蔗叶，提高榨糖能力，以适应国内榨糖能力需要。机械收获比人工收获效率提高 30 ~ 50 倍，并且收获成本低，比人工收获每公顷降低成本 750 ~ 1 100 元。机械收获能满足及时收获的要求，减少糖分损失。机械收获宿根质量好，基本不降低下一季节甘蔗产量。甘蔗收获是一项系统工程，不仅存在着与甘蔗种植

农艺和种植机械相配套的问题，更要与我国甘蔗榨糖技术和设备能力相配套，切段式与整秆式收获并存、大型与中小型并举，还要促进收获机械的信息化、自动化与智能化技术提升与机群调度信息化技术融合。

7.1.4 根茎类作物收获机械的特殊地位与作用

根茎类作物如马铃薯、红薯、木薯、甜菜、萝卜、洋葱、大蒜、生姜以及中草药等，在我国种植较为普遍，且具有显著的调节世界市场的作用。此类作物收获用工量约占总用工量的65%左右，且劳动强度大、费工费力费时，机械收获阻力大、要求损伤率小，实现其机械化收获是我国农机化发展的目标之一。马铃薯全国种植面积为7 000多万亩，年产量8 000余万t，含有大量的淀粉、氨基酸，号称“地下苹果”，不仅是人们的食品来源，也是工业的主要原料和贫瘠地区农民生活、增收致富的主要作物。我国是世界上最大的红薯生产国，种植分布较广，形成了北方春夏薯区、长江中下游流域夏薯区和南方薯区，常年红薯种植面积为7 500万~8 000万亩，占我国耕地总面积的4.2%，收获了占世界总产80%左右的产量。胡萝卜是老幼皆宜的好蔬菜，誉称“小人参”，其中所含的胡萝卜素具有增强体质、预防疾病等功效。我国胡萝卜种植面积接近世界胡萝卜总种植面积的40%，总产量800多万t，占世界总产量的1/3，是当之无愧的世界第一大胡萝卜生产国。洋葱营养成分丰富，被欧洲誉为“菜中皇后”，含有大量的蛋白质、粗纤维、钙以及硒等稀有元素，具有防癌、抗癌和软化血管等功能。洋葱在我国分布很广，南北各地均有栽培，而且种植面积还在不断扩大，我国是目前世界上包括印度、美国、日本在内的四大种植国家之一。大蒜是我国和东南亚等国居民喜欢食用的调味品，含有独特的生物活性蒜素及硒蛋白等，这些都具有医用和食用价值，大蒜素对动脉硬化、心肌梗塞和延缓衰老等都具有较好的药效。我国是全球最大的大蒜种植国，种植面积为400多万亩，产量为400多万t，占全球总产量的70%以上，全球海运大蒜市场供给量一半以上都来自我国。在大蒜机械收获方面，应解决入土挖掘收获的难题，通过结构创新、材料创新，降低收获部件的阻力、损伤率，提高挖净率、耐磨性、生产率等。

7.1.5 蔬菜类作物收获机械的特殊地位与作用

蔬菜是保障生活及我国农产品出口的重要组成部分。统计资料显示，2006—2010年五年间，我国蔬菜总产量分别为58 326万t、56 452万t、59 240万t、

61 824 万 t和 65 099 万 t，五年平均增长 2.32%。日常不可或缺的西红柿、圆白菜、菠菜等蔬菜，欧美等地区的发达国家已实现全程收获机械化，但国内研究较少，均由人工完成收获。西红柿在国内外种植面积都比较大，是各国居民喜爱的食品，经深加工后，可制成多种食品。国外西红柿主要用于深加工做成各种食品，所以采用一次性收获，收获的同时分级，好的可直接食用，其余用作深加工的原料。食用的西红柿在欧美等地区的发达国家采用机器人采摘，目前正处于试验和改进中，还没有用于生产。我国西红柿种植区域比较广泛，集中种植面积比较大、占据世界西红柿酱出口 70% 的新疆地区，因水土和气候的特殊自然条件，产出的西红柿外观好、营养丰富，经深加工后，制成的各类罐头等食品深受国内和欧洲国家的青睐，是产区农业增加经济收入的途径之一。西红柿生产比较费工、费时，特别是西红柿移栽和收获环节，西红柿收获用工量占生产总用工量的 70% 左右，特别是遇到特殊天气，如下雨，往往因不能及时收获而造成霉烂等损失。菠菜、圆白菜等蔬菜都是城乡居民不可缺少、长期食用的菜类，这些蔬菜中含有多种人体不可缺少的营养成分，如维生素和钙、磷、铁等矿物质。这些蔬菜在国外种植时由整套规范和配套的机具完成，首先是品种要适合机械作业，其次是种植要符合农艺特点，再次是栽植与收获机械配套。在此方面的研究，重点是种植机械与收获机械的配套，对于不同的蔬菜，在研究适合的整地、播栽、灌溉、植保、控苗技术的基础上，研究与其配套的收获机械，形成规范农艺指导下的装备体系，提高收获效率、降低收获损失、提升分级分选能力。

7.1.6 果品类收获机械的特殊地位与作用

苹果、葡萄和柑橘是人们喜爱的水果，具有丰富的多种维生素，苹果中含有果胶等特殊的成分，具有预防糖尿病和降血糖等作用。苹果生长在树上，由于品种不一，果树高矮不等，有的高达 4 ~ 5m，所以苹果收获相当费工，发达国家已实现机械收获，效率高、果实完整率高、损伤小，人工收获效率低、时间长、成本高，特别是收获高处的果实，有时比较危险，人踏在高梯上摘收，或上树采摘，不小心往往出现人身事故，人工摘果有时苹果掉在地上，造成损伤，影响苹果质量，且不便于保存。

葡萄收获主要针对酿造葡萄酒用的大面积种植的葡萄，它们是制造各种葡萄酒的主要原料，国内葡萄酒销量大，欧美等地区的国家主要是酿造干红和干白等葡萄酒，产销量非常大，大面积种植的葡萄收获用工量大、成本高、效率低、时

间长；由于葡萄生长枝叶茂盛，人工采摘往往有些漏摘，造成损失。实现机械采摘可大量节省劳力，效率高，收获成本比人工收获低 40% 左右，大面积种植必须实现采摘机械化，否则采摘的用工量太大，有些地区难以解决由于采摘时间长而使某些成熟的果实脱落地上而造成的损失。

柑橘是人们最喜爱的水果之一，含有大量果糖、柠檬酸及多达 15 种维生素，柑橘不仅可鲜食，也可加工成多种罐头和食品。柑橘主要生长在常绿灌木或小乔木上，成熟期基本一致，收获时用工量很大，如果收获期太长，往往造成部分柑橘损失，人工收获成本高、效率低，如不及时收获，往往造成部分柑橘的质量有所下降，使某些营养成分散失，机械收获成本低，能保证柑橘的质量，并避免延时收获造成的损失。

7.2 收获机械新技术概览

在欧美等地区的发达国家粮食作物、经济作物和青饲作物早已实现机械化收获，进入 20 世纪 90 年代，发达国家的收获机械产品大量采用电子、液压等高新技术，实现了机电液一体化，使性能和使用可靠性不断提高，满足不同国家和不同地区的需要。目前发达国家使用的大中型联合收割机上装备了 GPS、GIS 和 RS 等现代化高新技术，由于航天、计算机和微电子技术的应用，收获机械实现了高度机械化、自动化和智能化，收获作业更加精确、高效和可靠，并能满足使用的方便性、安全性和舒适性。收获机械发展趋势有如下几方面。

7.2.1 向大型化、高效率方向发展

欧美等地区发达国家的粮食作物、经济作物和青饲作物等都是大面积种植的，需要大型、高效的联合收割机，所以使用的机器不断向大型和高效收获方向发展。某些谷物联合收割机，配套功率由 100kW 左右提高到 276kW，喂入量由 5～6kg/s 提高到 9kg/s，收割幅宽由 4～6m 加大到 9m，使收获效率显著提高，以满足大面积高效收获作业的要求。

国内谷物联合收割机在 20 世纪 90 年代多为中小型（合资企业生产的少量大型机除外）、以收获麦类作物为主的机器，割幅一般为 1.5～2.2m，配用动力为 29.8～37.3kW（40～50hp），喂入量为 1.5～2.5kg/s，随着农村经济的发展和联产承包户的增加，机型逐渐向大型化发展，近两年小型机基本不生产了，37.3～44.7kW（50～60hp）的中型机已发展为 52.20～67.11kW（70～90hp），割幅已

达到3m，喂入量已提高到3.0～3.5kg/s，收获效率由3～6亩/h提高到5～8亩/h。收获水稻为主的履带式联合收割机，由配用动力14.91～22.37kW（20～30hp），割幅1～1.5m发展到现在的中型机，配用动力为37.3～48.47kW（50～65hp），割幅为1.8～2.5m，喂入量达到2.5kg/s。对于玉米收获，国外采用在大型联合收割机上更换专用玉米割台的方法实现摘穗、脱粒及茎秆切碎还田等作业环节，我国玉米收获工艺与国外不同。因国外都是一季种植，收获时玉米含水率较低，可直接完成脱粒作业，而国内不少地区都是二季种植，收获时玉米含水率较高，如收获时直接脱粒则会造成破碎率高、损失多，所以国内玉米收获工艺为摘穗、排杂、果穗（剥皮）装箱、茎秆切碎还田。20世纪90年代末期开始研制的玉米收割机机型多数与14.91～22.37kW（20～30hp）拖拉机配套，发展到现在为与44.7～59.7kW（60～80hp）拖拉机配套的3行玉米收割机，而自走式联合收割机目前还没有投入大批量生产，从研制的机型看多为3行机，配套动力在74.57kW左右，随着玉米收获机械的大量推广使用，机型将向5～6行机方向发展。

对于青饲作物联合收割机，在欧美等地区的发达国家已由中型机的幅宽3m提高到6m，发动机功率由193.9kW（260hp）提高到452.64kW（607hp），使生产效率由10亩/h（约0.67hm^2/h）提高到20～25亩/h（1.33～1.67hm^2/h）。国内使用的多为中型机，割幅为3m，收割台喂入筒为2个，配套动力为193.9kW（260hp），生产效率为10亩/h（约0.67hm^2/h）左右，随着畜牧业的不断发展和种植面积的增加，今后使用的机型也将向大型机方向发展。

棉花收获机已由2～3行机发展到5～6行机，配套动力达到223.7kW（300hp），配有5～6组、10～12个采棉筒，生产效率由4～5亩/h提高到7～10亩/h。国内机刚开始生产，主要用于我国新疆地区。新疆棉花的种植面积大，主要需要5～6行大型机，由于国内尚没有生产，使用的均为引进美国的大型采棉机（5～6行）。

甘蔗收获国外均采用大型自走式联合收获机，配套动力约为246.08kW（330hp），全液压底盘，行走机构有轮式和履带式两种。一次完成切割、输送、剥叶和切段等作业，切段后的甘蔗直接送到糖厂进行加工。而我国的收获工艺与国外不同，采用的是分段作业，采用由拖拉机配套的收割机完成切割，再由剥叶机打顶和剥叶，不进行切段。因我国糖厂加工能力小，如果切段后运到糖厂不能及时加工，则会造成大量糖分损失，所以都是经剥叶和打顶后送到糖厂。我国的

甘蔗收获目前基本由人工完成，分段作业的收割机也没有形成批量生产。

世界亚麻主要产区在我国东北、印度尼西亚和欧洲国家，欧洲已实现拔麻机械化，采用的是自走式拔麻机，为提高拔麻效率，机器已由收获 4 行提高到 8 行，生产效率由 15 亩/h（约 1hm^2/h）提高到 30 亩/h（约 2hm^2/h）左右，发动机功率由 44.7kW（60hp）提高到 74.57～89.48kW（100～120hp），以适应大面积收获作业的需要。我国在研学国外机型的基础上，已开发出 4 行亚麻收获机，尚处在试验和改进过程中。

对于根茎类作物重点介绍马铃薯收获机，在欧美等地区使用的有自走式和牵引式两种机型，多数为 2 行机。少数机型一次同时完成切秧、挖掘、抖土分离、果实装箱作业，多数机器采用杀秧机，将茎叶切碎还田，然后由收获机进行挖掘、抖土分离、除根茎、果实装箱作业。在美国、俄罗斯，马铃薯收获机最多可收获 4 行，这种自走机配套动力为 164.1kW（220hp），生产效率达到 15～25 亩/h。国外在果实收获后大都要求分级，一般分三级，采用的是专用分级机，由于分级机体积较庞大，在联合收获机上不易实现，所以都采用单独使用的专用分级机完成分级。我国马铃薯联合收获机尚处于研制和试验阶段，研制的机型是在研学欧洲 2 行牵引机的基础上开发的，由 74.57～89.48kW（100～120hp）拖拉机牵引，经杀秧机将马铃薯茎叶切碎后，一次完成挖掘、抖土分离、除根茎、果实装箱作业。目前国内使用的主要是单一功能的挖掘机，将马铃薯挖掘后抖土分离，成条铺放在田间，并由人工完成捡拾。

采用大型机后，生产效率显著提高，对于用户来说，虽然购机成本有所增加，但综合比较，比使用中小型机的收获成本有所降低，由于效率高，能做到及时收获，避免了不必要的损失，所以大型机受到用户欢迎。再有，对于生产企业来说，生产大型机投入不是很大，因国外公司都有系列产品，原有生产设备基本上能满足生产大型机的要求，所以生产成本增加不多，而大型机售价却高很多，所以生产大型机对于生产企业和用户都有优越性。

7.2.2 继续扩大通用性、提高适应性

欧美等地区国家使用的大中型谷物联合收割机，以收获麦类作物为主，但都配有收获水稻、大豆、玉米、油菜和向日葵等多种作物的附件，在收获水稻时更换脱粒滚筒等部件，收获大豆时更换割台及清选装置等，收获玉米时更换玉米割台等，通过更换某些部件，实现一机多用，降低用户使用成本，提高机器利

用率。

为适应不同田块和不同产量作物的收获，机器配有不同宽度的收割台；要适应不同田面的作业，机器配有不同宽度的轮胎，提高田间通过性能；在湿软田作业时，为保证机器正常作业，有些机器可改装成半履带式，提高田间作业通过能力，适应易下陷较深的田间收获作业。

为提高青饲作物联合收割机的通用性，其配有收获不同作物的附件，目前大中型自走式青饲作物联合收割机配有收获青饲玉米的不分行立式圆筒回转割台、收获青饲麦类作物和牧草的收割台、捡拾牧草和苜蓿等矮秆作物的割台，也可配对行青饲玉米割台等。一台主机可配收获几种作物的附件，达到一机多用，提高通用性，降低使用成本。

为提高谷物联合收割机的适应性，对关键部件进行了改进和提高。在收割部件方面，由于割幅较宽，为保持收割质量、适应田间不平地面、实现收割自动仿形，割台自动控制垂直离地间隙，宽幅割台还可实现左右水平仿形，以满足切割质量的要求。为适应倒伏作物收获，拨禾轮由一种偏心设计改进成两种偏心，可满足倒伏和高秆作物拨向收割台的要求，使收割台能及时输送作物。

为提高脱粒性能，脱粒间隙可实现自动调节。在收获不同产量和不同高度的作物时，脱粒间隙要求也不同，喂入量大时，脱粒间隙应适当增大，喂入量小时，脱粒间隙适当减小，以达到脱粒干净、夹带损失少、破碎率低的目的，从而保证在各种收获条件下均具有优良的脱粒性能。

清选系统装有自动调平装置。因联合收割机收获作业中在各种田面上作业，如果在不平地面收获作业时，清选筛若不能调平，在倾斜状态下工作，则会产生如下问题：在倾斜面的低处将堆积大量的短茎秆、杂余和籽粒，堆积层较厚，很难筛分干净，使杂余夹带损失增加；同时由于倾斜面的低处物料多、负荷大，容易使筛面破损；而在倾斜面的高处仅有少量的物料，容易造成碎小物料随籽粒落下，影响清洁度。所以增加调平机构，从而保证清选系统在任何地面作业时的清选性能。筛面开度的自动调节就是根据筛面负荷量大小来调节筛面的开度大小，物料多时，应加大开度，使籽粒能及时分离出去，否则容易增加夹带的清选损失；当物料少时，应减小开度，避免碎杂余同籽粒一起分离出去，降低籽粒清洁度。

由于大型收割机的割幅较宽，在运输时割台可自动折叠，如 6m 宽的青饲割台，在运输时可两侧向上折叠，割幅由 6m 降至 3m，便于运输。

大型自走式采棉机，可适应多种不同种植行距的采棉作业，提高适应范围，可收获76cm、8cm＋8cm＋60cm、30cm＋60cm等不同种植行距的棉花。要提高采净率，采棉机的采棉头上每行配置两个采棉滚筒，前后一字形排列，也就是说，采棉机收获作业时，每行棉花都要经前后两个滚筒进行采摘，二次采摘大大提高了棉花的采净率。

亚麻收获机在收获时，拔麻装置的离地间隙可自动控制，满足在不同地面上作业时，始终保持离地间隙的一致性，使拔净率高，并不损伤麻茎，保证了拔麻质量和拔净率。

对于甘蔗收获机，为保证留茬高度，切割部件离地高度应能自动调节。因为甘蔗是多年生作物，一般每三年更换一次种植，所以切割高度要求较严，留茬切口需平整，蔗头不破损，留茬高时，影响基部芽萌发，造成发株弱，产量受到影响，所以切割高度应能自动控制，以保证理想的留茬高度。甘蔗地地面有些起伏不平，采用自动调节，能满足不平地面收获作业的要求。

为适应不同种植深度的马铃薯收获，马铃薯收获机械的挖掘深度可自动调节，以避免挖掘时损伤薯块和漏挖。在薯块向后输送除土过程中，输送速度可以微调，根据薯块上泥土的多少来调节抖动分离的速度，从而达到除土性能好、不损伤薯块的目的。

7.2.3 新结构、新材料和新工艺的应用

为提高机器的可靠性和寿命，欧美等地区的国家对联合收割机的关键部件和易损部件不断采用新结构、新材料和新工艺。

在大型谷物联合收割机的收割台上，除某些板件加厚之外，采用大直径薄壁钢管代替小直径厚壁钢管，使强度和刚度都有提高，有些大中型机的收割台侧壁采用钢板冲压整体结构，不仅外观改善，而且强度也有所提高，采取上述措施后，机架变形小，使用寿命提高。在脱粒和清选方面，德国克拉斯公司为提高联合收割机喂入量、改善脱粒性能，在脱粒滚筒前设计了一个附加装置——加速器，实际上它是一个带有凹板的切流式滚筒，该装置结构尺寸比脱粒滚筒小，转速为脱粒滚筒的80%，作物在进入脱粒滚筒前，先由该装置进行预处理，脱掉部分籽粒并分离出去，而后再进入脱粒滚筒。增加的加速器使作物的喂入均匀性提高，减少了作物层厚度，实际上通过加速器后，进入脱粒滚筒的作物量减少，提高了脱粒性能和分离效果。

分离装置的逐稿器是分离长茎秆和籽粒等的重要装置，对机器的生产效率和籽粒损失有很大影响。为提高分离能力，减小损失，有些机器在逐稿器上方加装1～2个分离轮，改善茎秆的蓬松度和物料分布的均匀性，有利于籽粒分离和提高效率，为机器高效作业提供条件。还有些机器的分离装置采用水平放置的分离滚筒代替逐稿器，共设计有8个水平放置的分离滚筒，作物进入分离滚筒后，物料由前向后输送，在输送过程中，在回转滚筒的作用下，茎秆排出机外，籽粒经滚筒落到清选系统。

在大中型青饲作物联合收割机上，设计有一对破碎辊，在青饲玉米切段后，进入到一对破碎辊中，将较成熟的整粒玉米破碎，提高饲料的饲喂效果和畜禽的消化吸收率。设计破碎辊的原因在于收获时有少量玉米果穗比较成熟，在切段过程中整粒玉米很难切碎，如果这些成熟整粒夹在短茎叶中，往往会造成浪费。

在自走式大型采棉机上为提高生产效率，采用了不少新的结构和装置。在输棉系统，为提高输送效率和避免堵塞，输送装置的管道采用基于射流原理的吹吸风机构，就是说在集棉室采用吹风形式将集棉室中的棉花向出棉口方向吹，而集棉室出口又是吸气流，这种吹吸气流输送能力强，结构简单、实用。由于采摘的棉花装在棉箱中非常蓬松，仅能装2 000kg左右，收获5～6亩（0.3～0.4hm^2）就要卸棉一次，影响收获效率，有的大型机的棉箱侧壁采用伸缩式结构，在作业时，棉箱侧壁自动伸出1m左右，使棉箱容量增加30%左右，减少了卸棉次数，提高了收获效率。还有机器的棉箱装有压实机构，蓬松的棉花进入棉箱后就被压实，大大增加了装棉量，为高效作业提供了条件。

在新材料方面，一些大型机为满足高效、可靠的要求并提高使用寿命，某些易损部位和关键部件采用新型材料和热处理工艺，目的是提高耐磨性，延长使用寿命，降低使用成本，提高经济效益。收割台底板采用不锈钢板代替传统的普通钢板，提高使用寿命；再则这种大型机割台横向输送量比较大，采用普通钢板摩擦阻力大，使横向输送不畅，很容易造成堵塞，而采用不锈钢板，不仅耐磨，而且摩擦阻力小，使作物横向输送顺畅，不容易产生堵塞。

在某些大中型青饲作物联合收割机的喂入部分，前上、下两个喂入辊采用不锈钢材料，不仅提高了耐磨性，延长了使用寿命，喂入也更加通畅，提高了喂入性能。另外，国外大中型青饲作物联合收割机上都有金属物探测装置，在收获作业中，往往夹有金属物，如不除去而夹在青饲料中，则会影响饲喂效果，并有可能损坏机器的某些部件。

在新工艺方面，对大型联合收割机关键件的易磨损部位进行热处理，目的是提高零件硬度，增强耐磨性。如脱粒部件的纹杆，经硬化处理后，大大提高了耐磨性；在青饲作物收割机上，切段部件的定刀、动刀容易磨损，为提高使用寿命和减少磨刀次数，提高工作效率，动刀采用碳化钨喷涂工艺，喷涂厚度约为0.2mm，采用该工艺后，耐磨性能大大提高，使用寿命延长；定刀一般采用嵌入硬质合金材料的工艺提高耐磨性能。

在大型采棉机上，输棉管道改为采用成型的硬质塑料方形输送管道（原来的铁皮管道使用寿命短，一般1～2年就锈蚀损坏了，并且输送阻力比较大），实用性能好、耐磨、输送阻力小，很少发生堵塞现象，且质量小，便于安装。

7.2.4 大量采用高新技术，实现高度机械化、自动化和智能化

在谷物联合收割机上，一般装有如下装置。

1. 全球卫星定位系统（GPS）

可在全球范围内使用，根据用户要求提供多种信息服务。在欧洲和美国等国家和地区某些大型谷物联合收割机、采棉机及大型青饲作物收割机上都有GPS，使机器更加高效可靠地进行收获作业。

2. 产量、含水率等的监测装置

在大中型谷物联合收割机上，装有产量和水分测试传感器，测量收获作业中的作物亩产量、含水率。根据测出的作物产量高低、含水率多少，驾驶员对机器的前进速度和喂入量的大小作出选择，并使机器始终保持正常作业，使机器的作业效率得到充分发挥，同时降低故障率，保证机器能安全可靠地进行作业。

3. 籽粒损失监测装置

可随时监测出联合收割机在作业中籽粒的损失情况，驾驶员根据监测到的情况，将采取不同措施，如发现籽粒损失增加，则采取降低前进速度、减少喂入量或减小割幅等措施，从而改善收获性能，减少损失。

4. 工作小时数和收获亩数的测试系统

在联合收割机上装有测试机器的工作小时数和每天收获面积的装置，根据收获的时间和面积，驾驶员可了解到该机的工作效率是否得到充分发挥，为今后提高工作效率提供参考。如果收获效率低，可提高收获效率、充分发挥机器的作业效率。该装置为经营性的用户提供方便，不用实地测量收获亩数，减少了时间的浪费，避免与用户发生纠纷。

5. 地理信息系统（GIS）

利用田间数据采集装置和计算机处理系统，将土地类型、地形地貌、排灌状况等测出来，为联合收割机的收获作业提供土壤方面的情况，以便考虑收获作业中的通过性能。如果土地湿软，就要更换轮胎，提高收割机的通过性，避免在作业时还要更换行走装置，影响工作时间，减少收获面积。

6. 智能化控制技术

智能化技术的应用，大大提高了机器的收获性能和使用可靠性，并减轻了操作者的劳动强度，提高了工作效率。其主要应用在以下方面：

1）割茬高度、自动对行的自动控制。可自动控制割茬高度，由于收割台可自动仿形，即使地面不平，也能保持留茬高度的一致性；可自动对行，在收获作业中能保证联合收割机始终全幅作业，充分发挥收获效率，并减少油量消耗，增加经济效益。

2）拨禾轮转速、搅龙轴转速等的监控。在收获作业中，根据收获作物的生长状况，包括倒伏状况、作物自然高度、籽柄连接力、含水率等可自动调节拨禾轮转速，达到扶禾、导入性能好，不碰落籽粒的要求；根据输送作物的多少，可随时调节搅龙转速，达到输送流畅、割台不堆积作物的要求。

3）脱粒装置的监控。脱粒滚筒转速监控，脱粒部件是联合收割机的心脏，联合收割机工作情况和效率高低等均与该工作部件有关，所以实现脱粒滚筒转速监控非常必要，能降低联合收割机作业时的故障率，保证联合收割机正常高效地进行收获作业。键式逐稿器的监控，大中型联合收割机逐稿器分离茎秆量比较大，也是容易产生堵塞等故障的部位之一，实行监控可保证逐稿器的抖动分离性能，将茎秆中的籽粒分离出来，而茎秆能及时排出机外。

4）清选系统的监控。清选性能是影响联合收割机性能的重要因素之一，总损失率中，清选损失占 40% 左右，而籽粒含杂率多少取决于清选性能的好坏，特别是清选潮湿作物时，清选系统的工作情况直接影响到整机作业的可靠性和清选效果，需要对清选系统进行监控使其达到满负荷工作，且损失少、籽粒含杂率低。

5）二次回送装置的监控。二次回送物料中，短茎秆占绝大部分，往往造成堵塞，因此二次回送装置是联合收割机的故障多发区，实现二次回送搅龙监控，为整机正常可靠作业提供了条件。

6）切碎装置的监控。因联合收割机脱粒后的茎秆比较长，如果直接抛到田

间，则会影响下季作物种植，所以脱粒后的茎秆必须切碎，才能达到还田要求。为保证切碎质量不产生堵塞等故障，在大中型联合收割机上都装有切碎监控装置。

7）粮箱充满监控。大中型联合收割机粮箱都比较大，都设有装满粮箱的监控和报警装置，防止漏粮损失，保证及时卸粮，不影响机器的正常作业。

8）前进速度监控。联合收割机前进速度的快慢直接影响到收获效率、作业性能和收获质量，所以前进速度监控能保证联合收割机在正常作业条件下，充分发挥作业效率。

在青饲料收获中，往往夹杂有铁丝等硬质杂物，在收获时必须将其清除，否则不仅影响饲喂效果，还容易损坏机器。所以在青饲作物联合收割机上，除在关键部位装有监控显示和报警装置外，喂入口前端上、下两个喂入辊采用不锈钢材料，并装有磁性金属物探测器，遇有金属物自动停机，将铁器除去。

青饲作物收获时，切刀磨损快，需要经常磨刀提高饲料切段性能和保证收获效率，国外大中型青饲机都有自动磨刀功能，不仅减轻劳动强度，也提高了机器的作业效率。收获作业中，切刀间隙也有所变化，为满足高效作业，大中型收割机的定刀都具有自动调节功能。

在棉花收获机上，目前使用较多的是美国约翰迪尔和凯斯纽荷兰公司的 5 ~ 6 行采棉机，其工作部件实现监控、显示和报警，由计算机控制共 24 路监控，为安全可靠作业打下了基础。此外，还实现了摘锭自动清洗、自动控制清洗液流量、自动注油和润滑等功能。

7.3 典型作物收获机械新技术的产品和设备

7.3.1 谷物自走式联合收割机

欧美等地区发达国家谷物自走式联合收割机技术先进，大量采用高新技术，机械化、自动化程度高，并实现智能化自动控制，为高效可靠的作业提供了条件。现介绍德国克拉斯公司生产的 MEGA360 型谷物自走式联合收割机，该机主要由收割台、输送装置、脱粒装置、清选系统、切碎装置、行走底盘、行走机构、驾驶室及智能化监控系统等组成。该机以收获麦类作物为主，并配有收获水稻、玉米、大豆、油菜籽、草籽等的附件，可实现多种作物的收获作业。谷物自走式联合收割机整机外形如图 7-1 所示。

割台：主要由割台机架、横向输送搅龙、偏心拨禾轮、切割器及传动装置等组成。割台结构如图 7-2 所示。

图 7-1　谷物自走式联合收割机整机外形

图 7-2　割台结构

该机配有 6 种不同割幅（4.5m、5.1m、6.0m、6.6m、7.5m、9.0m）的割台，为保证收获作业时的切割性能和保持割茬的整齐一致性，装有横向水平调节装置，实现横向仿形，达到左右割茬整齐一致；该机割台可实现割茬高度自动控制，保证切割高度的一致性，提高切割质量，并可避免因田面不平造成收割台某些零部件的损坏。该自动控制的浮动装置主要由传感器、双作用液压缸和电子元件等组成。该机割台具有快速反转功能，一旦发生堵塞，可快速反转及时清除堵塞物，保持机器的正常高效作业。为便于运输和转移收割，收割台可折叠，驾驶员仅需按一下按钮，割台便可在几秒钟内完成折叠，割台在折叠过程中，其分禾器仍保持正常状态，随之一起折叠。由于该机配置了 Auto-Contour“智能”割台，因此在坡地、倒伏作物和夜间及在石块较多的田间均可正常作业。

脱粒装置：主要由喂入加速器、脱粒滚筒、分离凹板、排草轮、逐稿器等组成。脱粒滚筒结构如图 7-3 所示。

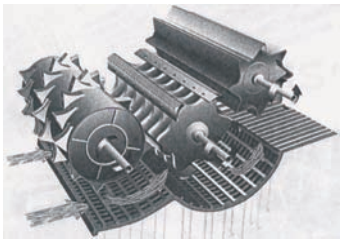


图 7-3　脱粒滚筒结构

在脱粒滚筒前加一个加速辊，目的是将割台输送来的作物首先经加速辊脱粒并分离部分谷粒，同时形成均匀的物流层，因加速辊已将部分籽粒脱下，并经加速辊下面的凹板落下，因此进入脱粒滚筒的籽粒量减少；另外，由于进入滚筒的物流层比较均匀，便于脱粒，提高了脱净率和分离率。因增加了一个加速辊，滚筒的凹板包角增大，该机分离凹板包角达到 151°，比其他机型包角大，从而使脱粒行程和分离面积增加，便于提高脱净率和分离率。为适应多种作物的脱粒，加速辊下面的凹板采用分段式结构，各段凹板可分段更换。脱粒滚筒下面的主凹

板在设计时就考虑到可适应多种作物的脱粒分离。为适应收获不同种类和不同产量的作物，该机主凹板与脱粒滚筒的间隙可根据需要随时自动调节，以保证脱粒性能。

经脱粒后的茎秆中仍夹有 10% 左右的籽粒，这是因为经脱粒滚筒脱粒后，90% 的籽粒经凹板进入到清选系统，剩余的随茎秆进入到逐稿器，由逐稿器完成分离，将分离的籽粒输送到清选筛上。逐稿器的分离性能不仅取决于逐稿器长度和抖动频率，均匀的物料层也十分重要，所以在每个键式逐稿器上方设计有两个前后布置的由凸轮控制的搅动指杆。搅动指杆在上方分离茎秆确保物料在逐稿器上流动顺畅，同时形成均匀的茎秆流动落层，有利于残留在茎秆中的谷粒分离。经逐稿器排出的茎秆，由茎秆粉碎器切碎，散落到田间，达到还田增肥的效果。

清选系统：主要由抖动板、上清选筛、下清选筛、风扇、调平装置及传动系统等组成。清选筛结构如图 7-4 所示。

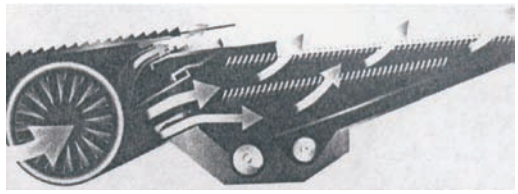


图 7-4　清选筛结构

为适应坡地或高低不平的田间作业，该机清选装置设计有调平机构，使清选筛在作业中，始终保持水平状态，保持筛分物料层均匀，筛面负荷均衡，从而有利于保持良好的筛分性能，并使筛面受力均匀，提高零部件的使用寿命。清选筛前端为抖动输送板，进入清选装置的物料，首先在抖动板作用下初步分离，从而使物料较均匀地进入到清选筛面，便于清选，提高籽粒清洁度并减少清选损失。筛面为长唇鱼鳞筛，回流筛可单独调整，具有较高的筛选效率，根据籽粒清洁程度可随时调节筛面的开度。风扇的风量风速可调，根据收获不同产量和不同作物调节气流量和气流速度，以满足清选性能的要求。

行走底盘：为静液压无级变速，收割机前进与倒退、高速与低速均可以在多功能操作杆上选择。选择任何一挡工作时，从怠速到变速之间的变换不需要切换离合器和换挡，操作方便、省力，有利于提高收获效率。采用全液压底盘使结构简单、质量小，使用可靠。行走机构为轮式，为满足在不同田间作业时的良好通过性能，可以选配不同规格和不同宽度的轮胎，以保持较小的接地压力，使机器具有良好的通过性能。在极其恶劣的田面条件下作业时，可使用该机的四轮驱动系统，完成正常收获作业，而在道路运输时，可选择两轮驱动。

驾驶室：装有完善恒温的驾驶室，操作杆件显示开关等全集中在驾驶员右手

侧，使用方便，如前进方向、行走速度、割台和拨禾轮、清选筛调平控制等。

智能化监控系统：该机智能化系统比较完善，可实现工作部件的自动控制、监视和显示等。可选装卫星导航定位系统、籽粒损失监视和测产系统等较先进的智能化装置，为机器可靠、高效率和高质量作业打下了基础。

该机有良好的通用性，可以收获稻、麦类作物以及玉米、油菜籽、向日葵、大豆及牧草等多种作物，随机配备收获上述作物的附件。由于收获作物品种多，年收获时间长，利用率高，因此相应地降低了机器的使用成本，提高了使用经济性。

7.3.2 稻麦半喂入联合收割机

该类机具主要是收获水稻，并兼收麦类作物，与全喂入水稻联合收割机相比，具有收获效率高、功率消耗少、适应倒伏作物收获和水田作业、保持茎秆完整的优点，是水稻产区理想的收获机具。目前半喂入联合收割机使用较多的主要是日本、韩国、中国及东南亚一些国家。

日本机型技术先进，自动化程度较高。日本的久保田、洋马、井关等公司生产的半喂入联合收割机均形成了系列产品。我国近几年不少单位也在研制、生产半喂入机型，多为研究日本的机型，在此基础上，逐步实现国产化，技术水平与日本机相当，性能也相近，但在使用可靠性和耐久性方面与日本机仍有较大差距。

国内生产企业生产批量较小，一般都在 100 台左右，日本久保田在中国的独资公司和洋马在中国的合资公司在国内的产量较大，年生产数千台。

现重点介绍日本洋马公司生产的 6 行半喂入联合收割机。该机主要由割台、分禾器、扶禾装置、中间输送装置、夹持喂入装置、脱粒分离装置、清选装置、复脱装置、切碎装置、自动卸粮式粮箱、驾驶室、液压底盘、行走机构及智能化装置等组成。

割台：主要由割台机架、分禾器、平面回转式扶禾链及导轨、往复式切割器、中间输送和喂入深浅调节装置及传动系统等组成。该机割台具有自动对行和割茬高度自动控制功能。割茬高度自动控制能保持割茬的整齐性，自动对行能保持收获时满幅作业，提高收获效率，这两种功能都能减轻驾驶员的劳动强度。

作业时，割台前方左右两侧的分禾器将已割和未割作物分开，左右分禾器内的作物在各行分禾器的作用下，随机器前进，沿分禾器边缘进入各行间。倒伏作

物在扶禾指的作用下被扶起，并由切割器完成切割。

扶禾装置：采用带扶禾指的平面回转链，机器作业时，带扶禾指的回转链沿回转轨道运动，当扶禾指回转到上部（脱离扶禾轨道）时，扶禾指缩回，转到下部时，扶禾指伸出，将倒伏的作物扶起，在星轮的夹持下由往复式切割器切割，并由中间输送装置向后输送。该扶禾装置结构较简单、扶起效果好，一般倒伏 70°内的作物均可扶直。扶禾装置如图 7-5 所示。

图 7-5　扶禾装置

中间输送装置：该装置将拨禾星轮与拨禾橡胶带送来的作物输送到脱粒输送链间的装置。该机有左右两条夹持输送链和穗端辅助输送链以及喂入深浅调节链、喂入链等。这些输送链均在带有压紧弹簧的压禾杆的配合作用下，实现作物的整齐强制输送。不工作时，压禾杆靠在输送链上，一般有 0 ~ 5mm 的间隙。工作时，作物被夹在压禾杆与输送链之间，在压紧弹簧的作用下将作物压紧，并由输送链输送，输送整齐可靠。

脱粒分离装置：由主滚筒、副滚筒、主凹板、副凹板、夹持台和脱粒输送链等组成。作业时，作物根部被夹在脱粒输送链和夹持台中，从前向后移动，穗头部分进入脱粒腔，由滚筒进行脱粒。脱粒后的茎秆由排草链排出机外或进入切碎装置切碎还田。

该机采用主副滚筒交接排列。副滚筒位于主滚筒尾部后侧，使主滚筒尾部未分离的茎秆、杂余和断穗等经交接口进入副滚筒腔，继续进行脱粒分离。籽粒等脱出物经副凹板落到清选筛上。这种副滚筒布置方式提高了机器处理主滚筒脱出物的能力，从而提高了整机的生产效率。主滚筒和副滚筒均由滚筒圈和弓齿组成，通过对作物穗部进行梳刷、打击和揉搓完成脱粒。脱粒干净，碎草少，清选负荷小，有利于提高清选性能。

主凹板和副凹板均采用编织凹板。编织凹板结构简单，易于生产，成本低，便于维修和保养，与栅栏凹板相比，编织凹板产生的碎杂余量较少，处理带柄籽粒和断穗能力较强。滚筒和凹板结构如图 7-6 所示。

清选装置：主要由清选筛、吊挂装置、传动装置及清选风扇等组成。清选筛如图 7-7 所示。

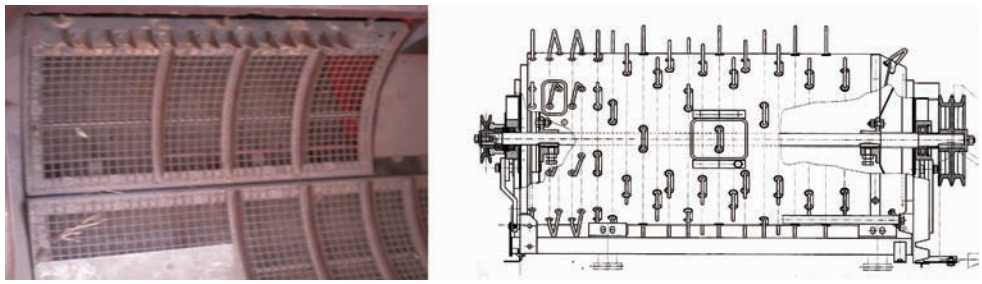


图 7-6　滚筒和凹板结构

清选筛通过吊挂式摆臂吊挂在脱粒机机体上，与支承式相比，受力较好，筛子运转平稳。6 行半喂入收割机属于大型联合收割机，收获效率高，清选物料较多，筛面较大，筛子长度达 1.7m，清选流程较长，有利于籽粒清选和分离。

图 7-7　清选筛

该机的清选系统采用吹吸两个风扇。吹风扇位于筛子前部，将上筛的物料吹散，碎杂余吹向筛子尾部，确保下筛层落下的籽粒有较高的清洁度。要取得满意的清选效果，必须控制好风速和风量，风速太高容易将籽粒吹到杂余搅龙中，增加复脱量和增加籽粒破碎。风力太小，碎杂余吹不出去，清洁度降低。该机有多个风速供选择，能得到满意的清选效果。吸风扇也称吸尘风扇，位于筛子尾部的上方，与吹风扇的气流共同作用，将上筛尾部的物料进一步吹散。颖壳、茎叶等轻杂物经吸风扇吸出机外，同时，也将作业环节产生的大量灰尘吸出机外，吹向地面，减少灰尘扩散，改善驾驶员的工作环境。

清选筛由抖动板、百叶窗式上筛、编织网式下筛、锯齿式尾筛和筛箱等组成。百叶窗式上筛分离面积大，效率高，筛片平整光滑，利于输送含水率较高的水稻茎秆、茎叶等，比鱼鳞筛更适用于水稻收获的清粮，但必须有强劲的吹风扇气流相配合。锯齿式尾筛筛片间距为 40 ~ 60mm，其能将茎秆等较大的杂余分离出去，籽粒、断穗等物料落下，减少清选损失。位于清选筛前部的抖动板将主滚筒脱粒后经凹板分离落下的物料抖动蓬松，使其扩散，均匀地落到清选筛上。蓬松的物料在吹风扇气流的作用下被吹散，密度较大的籽粒经上筛振动分离落到下筛上。蓬松的杂余被送到上筛后部，经尾筛分离，茎秆等较长的杂余被排出机

外，断穗等落到杂余搅龙中，轻杂物经吸风扇吸出排出机外。经上筛落下的籽粒和少量碎杂余在下筛和吹风扇的气流作用下，籽粒落到籽粒搅龙中，经输送进入粮箱中，碎杂余被气流吹向筛子后部。

杂余回送装置：在清选筛尾部下方装有杂余回送装置，将上、下筛没有分离的碎杂余和籽粒回送到副滚筒。特别是收获麦类作物时，断穗较多，清选后仍有少量断穗，需要回送到副滚筒进一步脱粒和分离，提高籽粒清洁度，并减少清选损失。

切碎装置：由两组横置式带有锯齿的圆盘切刀组成。脱粒后的茎秆在脱粒夹持链作用下，被输送到由链条和压禾杆组成的排草链，夹持茎秆根部，与排草链具有相同转速的拨指式辅助链拨动茎秆上部，保证茎秆整齐输送到切碎装置，将排草链输送来的茎秆及时切碎，经散播器均匀还田。如要求保留完整的茎秆，则由排草链将茎秆继续向后输送使其滑落到田间，成条铺放，或经堆放机构成堆堆放在田间。切碎装置如图 7-8 所示。

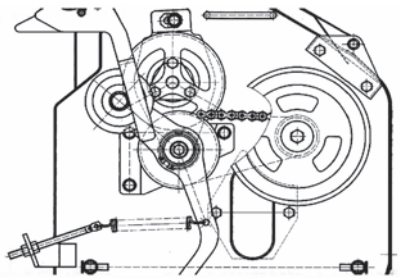


图 7-8　切碎装置

粮箱：该机粮箱装有自动卸粮搅龙。卸粮搅龙可以回转 270°，卸粮高度达 4m。自动卸粮，不需要停机，随时可以将粮箱中的粮食输送到接粮车中，提高收获效率。

底盘：该机采用静液压无级变速底盘，实现液压驱动和转向。液压底盘操纵轻便、灵活、简单，转向时间少，提高了作业效率。该机装有液压式车体平衡机构。左右两侧行走机构可以分别升降，使机体保持在水平状态，另外，左右两侧行走机构同时上升或下降，可以调整整机的离地间隙，提高了水田通过性。

行走机构：采用悬臂式支重轮系，密封环式密封机构。悬臂式轮系结构易于清除缠绕在履带轮上的茎秆、杂草、泥土等，便于保养、维修和更换。密封环式密封机构密封可靠，使用寿命长，是理想的水田密封机构。该机采用橡胶履带式行走机构，履带宽 450mm，且带有增大附着力的凹口，通过能力强，一般在 20mm 以内泥脚深的田间都可以正常作业。

驾驶室：该机装有封闭式恒温驾驶室，驾驶室内装有制冷、取暖设备，布置有多个可调式出风口，驾驶员可根据需要随意调节，极大地改善了驾驶员的工作

环境，使驾驶员免受高温酷暑、发动机余热烘烤和深秋时的寒冷以及稻麦收获时产生的大量灰尘和碎杂余的侵扰，消除驾驶时的疲劳，提高了驾驶的愉悦感和收获效率，是今后水稻收获机的发展方向。

智能化装置：该机机电液一体化程度较高，大量采用了电子液压等高新技术。具有喂入深浅、割茬高度、自动对行、自动停机等自动控制系统；具有发动机负荷检测、显示、报警系统；具有滚筒籽粒搅龙、杂余搅龙和发动机等主要工作部件转速检测、显示、报警系统；具有发动机水温、油温、油压、燃油、空滤和充电状态检测、显示和报警系统；切碎装置、粮箱等部位，装有安全报警装置，能实现自动停机。

总之，这些自动控制和安全报警、自动停机等智能化技术，提高了整机操作的安全性，避免了零部件损坏，充分发挥了整机作业效率，为人机和谐提供了保障。

7.3.3 青饲作物联合收割机

主要介绍德国克拉斯公司 JAGUAR900 型自走式青饲作物联合收割机，该机主要由收割台（配青饲玉米割台、青饲麦类和牧草割台、捡拾台三种）、喂入装置、切碎装置、玉米粒破碎装置、抛送装置、行走底盘及操作系统、驾驶室等组成，如图 7-9 所示。

割台：不分行玉米割台主要由分禾器、扶禾导向输送回转齿圆盘、导禾杆、切割器等组成。作业时收获幅宽为 6m，适应任何种植行距的青饲玉米收获。运输时，可折叠成 3m 宽，根据用户需要可安装自动导向对行系统，不需要驾驶员操作对行。

作业时，随着机器前进，待割青饲玉米由分禾器导入回转式输送导向圆盘，由切割器完成切割，并进入到横向输送搅龙回转圆盘，发生堵塞故障时，圆盘可反转，及时将堵塞作物排除，排除快速、省时、省力。分禾器带齿回转盘、导禾杆等的安装配置形式如图 7-10 所示。

为适应不平地面的收割，并保持留茬的一致性，该割台装有仿形装置，自动控制割茬高度，该装置主要由传感器、液压和电子元件组成。

该机还可配收割青饲麦类和牧草割台、捡拾台，这两种割台都装有仿形装置，自动控制割茬高度；并使捡拾器与地面角度保持一致，以便捡拾干净。

喂入装置（图 7-11）：主要由两组喂入辊（上、下各两个）、张紧调节装置

图 7-9　JAGUAR900 型自走式青饲作物联合收割机整机

图 7-10　回转式割台配置形式

等组成。喂入辊圆周带有锯齿，目的是提高喂入能力，从喂入辊到切碎装置物料流都是直线喂入的，没有偏移，人字形刀的安装使物料向中间集中，从而保证喂入性能和降低切碎机构的动力消耗。根据喂入量的大小，喂入辊间隙可调，上辊为浮动式，避免喂入堵塞。为防止金属物进入切碎装置，损坏机器或影响饲喂效果，在前喂入辊装有金属探测器，即使是很小的金属物也能探测到，有金属物时带锁定装置的安全离合器能立即停止进料。停机后，喂入辊轻轻地反转，能较容易地找到进入的金属物。

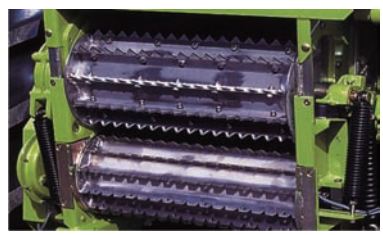


图 7-11　喂入装置

切碎装置：主要由切碎滚筒、动刀、定刀及磨刀机构等组成，动刀装在滚筒的刀鼓上，鼓宽为 750mm，左右交错安装人字形交错配置的刀片。刀的安装形式对能否减小阻力和对作物产生一定的抛力很关键，它可使物料流向中间，减少因物料与侧壁板摩擦而消耗的动力。为提高动刀的耐磨性和使用寿命，动刀表面采用碳化钨喷涂，喷涂厚度 0.2mm 左右，明显地提高了刀的耐磨性。动刀结构如图 7-12 所示。

为保持动刀的锋利性，提高切碎质量和减少功率消耗，需经常磨刀，该机采用自动磨刀。磨刀机构如图 7-13 所示。

磨刀实现自动化，任何时候都可以磨刀，通过自动控制的传感器实现自动磨刀，就是说磨刀板与刀的间隙可任意调节，磨刀板可精确地移到动刀的旁边进行自动磨刀。

破碎装置：在青饲作物收获时，有些玉米已基本成熟，如无破碎装置，则整

粒玉米会影响饲喂效果，所以该机在切段后设计有破碎装置。破碎装置如图7-14所示。

图 7-12　动刀结构

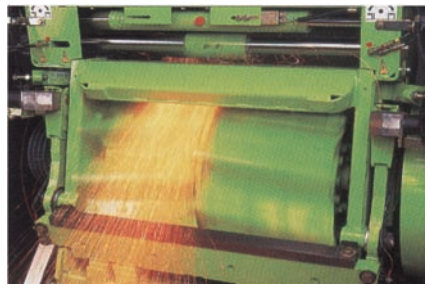


图 7-13　磨刀机构

破碎装置是由一对带锯齿的辊组成的，物料进入后，整粒玉米破碎，夹杂在物料中，破碎后易于牲畜消化，可提高饲喂效果。两辊的间隙可以调节，以满足破碎要求。

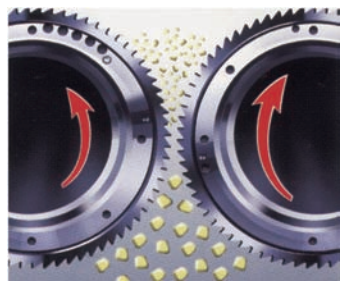


图 7-14　破碎装置

抛送装置：破碎后的物料经抛送装置抛送到接料车中，为保证将物料及时抛送，装有加速装置。

行走底盘：该机行走底盘为全液压式，采用液压驱动和转向，结构简单、使用可靠、质量轻、振动小。

该机装有一个双行程的液压增矩传动装置，此装置配备有转矩传感控制系统，其与该机牵引力需求形成线性变换关系，如爬坡或在非常湿软的地面行驶时，液压系统进行自动选择以获得最大牵引力行程范围。

新型前桥：该机割台为 6m 宽，比较重，所以 JAGUAR900 型配备了加强型传动轴，其承载能力达到 12t，足以支承该割台，如图 7-15 所示。

行走机构：该机行走机构为轮式，根据需要可更换不同型号的轮胎；为适应不同田间作业需要，JAGUAR900 型可实现四轮驱动。

驾驶室：全封闭恒温驾驶室，装有新型转向装置，可进行三个方向调节，轻便省力，安全可靠。

驾驶室内装有先进的控制系统，所有的主要操作都集中在一个新型多功能控制杆顶部的盘上，行驶速度、行驶方向、割台升降及进料变换控制都集中在顶部

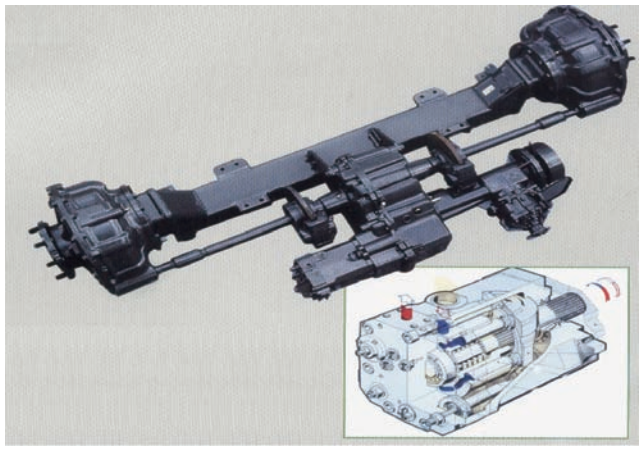


图 7-15　新型前桥

盘上，操作方便、使用可靠，如图 7-16 所示。在驾驶室内配备有通风和空调系统，并可安装广播和通信设备。

图 7-16　新型控制盘

该机的主要工作部位都装有监控、显示和报警系统，为安全可靠、高效作业提供了条件。

7.3.4　自走式采棉机

重点介绍美国约翰迪尔公司生产的 9970 型 5 行自走式采棉机，这是当代技术先进的产品，我国新疆地区已引进 200 余台，使用效果比较好，作业效率高、使用可靠，作业质量也比较稳定。

该机主要由采棉头、输送装置、棉箱、全液压底盘传动装置、清洗系统、自动注油润滑装置、驾驶室以及自动监控、显示和报警系统等组成，如图 7-17 所示。

图 7-17　美国约翰迪尔公司 9970 型 5 行自走式采棉机

采棉头：采棉头是采棉机的心脏，采棉机作业效率的高低、采棉性能的好坏均取决于该部件，采棉头主要由分禾器、导向板、采棉滚筒、脱棉盘、传动装置、机架、采棉头升降液压缸及浮动装置等组成。采棉滚筒在作业时，按设计的椭圆形轨道回转运动，在采棉滚筒

上固定有 14 根座杆，每根座杆上固定有 14 个水平配置的带有斜齿的摘锭。采棉时，固定在座杆上的摘锭除随采棉滚筒作回转运动外，自身还高速旋转，将籽棉摘下，旋转到脱棉盘处，使绕在摘锭上的棉花被脱掉，进入集棉室。摘锭上的棉花被脱掉后，清洗液自动清洗摘锭，目的是除去摘锭上残留的灰尘及细小碎叶，同时也湿润了摘锭，便于重新进入采棉区的摘锭顺利采摘籽棉。如果摘锭表面太干，则摘棉时易打滑，采摘性能下降，摘锭表面太湿时，又会使棉花在摘锭上缠绕得过紧，不易被脱棉盘脱下，所以摘锭的清洗要控制好清洗液的量，该机清洗液流量可自动控制和调节，使用性能好。

摘锭座杆上的摘锭通过一对锥齿轮传动（每根座杆内都固定有 14 对锥齿轮），带动其高速旋转（3 500r/min 左右），由于长时间工作，因此锥齿轮要求润滑性能好，该机实现自动注油润滑，保证了摘锭的工作性能。

为提高采净率，该机每行配有两个采棉滚筒，前后一字形排列，就是说每行棉花都经过二次采摘。有些机型如美国凯斯纽荷兰公司生产的采棉机，每行配两个采棉滚筒，采用斜对置排列，就是说两个采棉滚筒分别在棉行的两侧，据介绍可提高采净率 1% ~3%。

约翰迪尔公司采棉头装有自动控制装置，在采棉作业时，采棉头实现浮动，始终保持要求的离地间隙，避免造成离地低的根部棉花漏摘，该装置主要由双作业液压缸、传感器及电子元件等组成。

为避免在机器运输过程中损坏采棉头和升降机构，设计有采棉头与机体固定的锁紧装置。因采棉头很重约 5t，所以在运输过程中，特别是遇到高低不平路面时，会由于机器颠簸而损坏采棉头，锁紧装置使采棉头的重量完全由机体承担，所以运输时也比较安全。

输送装置：主要由大直径离心轴流风机、输送管道三叉接头及支架等组成。棉花在管道中靠气流输送，输棉管道的下部与集棉室后部出口相连，上部与棉箱相连，在输棉管道的中下部装有一个三叉接口，按射流原理设计，由风机吹出的强大风力，经三叉接口处，与集棉室相连的管道中的气流将集棉室中的棉花吹向后部的出棉口，并进入输棉管道向上部棉箱输送，而在三叉接口处的上部输棉管道中，又形成一股吹气流，在输棉管道中，在三叉接口处，下部输棉管道是吸吹气流相结合，而上部为吹气流，在两种气流作用下，将棉花输送到棉箱中。

棉箱：该机采用伸缩式棉箱，因采棉机作业时进入棉箱中的棉花非常蓬松，为增加容棉量，减少卸棉次数，提高采棉效率，采用可自动伸缩的棉箱，提高容

棉量30%以上。另外，采棉机高度已达4m，棉箱不宜再增高，否则在运输途中，就会超过通过隧道和桥梁的限高要求，所以采用伸缩式棉箱，在运输时缩回，满足运输要求。卸棉装置采用液压和电子装置，自动控制卸棉与回位，卸棉时，棉箱自动翻转90°，与水平方向垂直，卸棉速度快，回位迅速。

行走底盘：该机采用全液压装置，行驶和转向全由液压系统控制，使用可靠，便于维修和保养。由于采用液压驱动和转向等省去了较多的机械部件，因此结构简单、质量轻，特别是这种大型采棉机，质量已达14t，减轻质量十分必要，对提高通过性和操纵性能都非常重要。另外，采用全液压底盘，噪声小、振动小，收获性能、行驶稳定性和零部件的使用寿命都有所改善。

驾驶室：采用全封闭恒温驾驶室，改善了操作者的工作环境，减轻了操作者的疲劳程度，操作者视野好，为高效收获作业提供了条件。

清洗系统：主要由高压泵、管路、清洗液箱、流量控制和显示装置组成。操作者根据作物条件、收获时间、天气等各方面情况，确定清洗液的流量，调节控制阀，使清洗液连续不断地流到清洗部件，以满足正常作业的要求。

自动注油润滑装置：机器结构复杂，润滑点多，尤其是摘锭与摘锭的传动锥齿轮，共1 960对，作业时高速旋转，必须满足润滑要求。每天工作结束后润滑一次，如果人工润滑，则不仅时间长，而且润滑也不一定到位，实现自动注油润滑能使注油量等都得到很好的控制，润滑性能好，省时省力。

自动监控、显示和报警系统：该机有24路监控、显示和报警，实现了整机的全部监控。操作者在驾驶室内可全部监控该机各处的作业情况，为高效、安全、可靠的作业提供了条件。

该机根据用户需要，可安装全球卫星导航定位系统，无论在哪里进行作业，通过卫星都可随时监视该机的收获情况。

7.3.5 亚麻收获机

亚麻收获机械主要包括拔麻机、翻铺脱粒机、打捆机和剥麻机等。发达国家已实现亚麻收获机械化，如比利时尤尼林（Union）公司生产的全套亚麻收获装备，在法国、荷兰、俄罗斯等亚麻种植较多的国家都得到了应用，实现了亚麻收获机械化。我国亚麻收获基本由人工完成，最近两年才开始研制亚麻拔麻机和亚麻翻铺脱粒机，尚处在研究改进和试验中。

现重点介绍比利时尤尼林（Union）公司生产的4行亚麻拔麻机。该机主要

由拔麻装置、夹持输送与翻转装置、水平输送装置、放铺装置、底盘和行走机构等组成，如图 7-18 所示。

拔麻装置：每行装有水平倾斜固定的拔麻轮，其为铸铁轮，在小轮上装有宽橡胶带，在大轮外径上有硫化橡胶层。作业时，亚麻在分禾器作用下，将相邻两行间的作物分开，并沿分禾器导杆进入拔麻装置。每行有一个装有宽橡胶带的拔麻轮和一个表面覆胶的拔麻轮，随着机器的前进，亚麻被两个相向向后回转的拔麻轮拔出并由宽橡胶带夹持向上输送，每两行变为一条，共有两条向上输送。输送到顶部时，两条变为一条，在倾斜的夹持输送带和压禾杆的作用下亚麻由直立变为水平，放到前后倾斜的平板上，平板上的作物由两条带有三角齿板的平带向后输送到机器尾部，条放在田间。

拔麻装置及输送装置如图 7-19 所示。

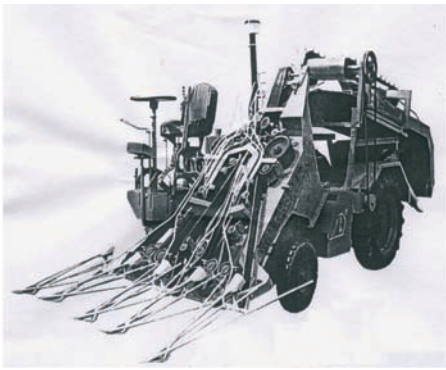


图 7-18　4 行亚麻拔麻机

图 7-19　拔麻装置及输送装置

为保证拔麻质量和可靠性，拔麻轮离地间隙可手动或自动调节，即使在高低不平的田间作业也能保证拔麻质量，避免产生漏拔等现象。两个拔麻轮的间隙可调，因亚麻种植区域的产量高低有所不同，收获时作物厚度不一样，为满足不同亚麻层厚度的要求，每行左右两个拔麻轮的间隙可调节。亚麻输送采用宽橡胶带夹持输送，摩擦性好，易夹牢，不容易滑落，且橡胶带夹持柔性好，不损伤麻茎。另外，这种夹持输送形式结构简单、适用、成本低，便于工厂组织批量生产。对于用户来说，使用、保养和更换简单、方便。

亚麻作物比较高，一般为 0.8 ~ 1.3m，而 4 行机收获宽度为 1.4m，所以在放铺时往往产生前后两行有尾部和根部搭接的情况。亚麻收获后要雨露 5 ~ 7 天，而搭接部分会影响亚麻雨露和翻铺，因此要求放铺时不能搭接。所以亚麻水平输送部分（平板和带有三角齿板的部分）可绕前部的直立轴左右摆动，也可调节

平板的水平角度，该调节装置可手动或自动控制，根据收获亚麻的高度由驾驶员控制水平输送所需的摆角，以便收获的亚麻放铺时不会压到前次收获时放到田间的亚麻。

底盘和行走机构：该机底盘采用液压无级变速，可满足各种收获速度，亚麻收获前进速度快，要求行驶平稳可靠，底盘强度要好，液压底盘比机械式振动小，这对高速收获作业的亚麻机来说是非常有利的，提高了行驶的稳定性。行走机构为轮式。

该机在关键部位装有监视和报警装置，具有故障报警、自动停车等功能，为安全可靠作业打下了基础。

7.3.6 甘蔗联合收获机

目前国外使用的甘蔗联合收获机主要有两种形式，即整秆式联合收获机和切段式联合收获机。国内还没有形成批量生产的甘蔗联合收获机生产企业，目前少量使用的是分段作业机具，即甘蔗收割机、剥叶机等。甘蔗收割机与 22.37 ~ 37.29kW（30 ~ 60hp）拖拉机配套使用，仅完成甘蔗的收割，而剥叶由剥叶机完成。

现主要介绍澳大利亚 AOSTOF T 7000 型甘蔗联合收获机，该机主要由切梢器、分禾扶倒器、双圆盘切割器、输送喂入装置、剥叶装置、限速装置、切段装置、排杂装置、蔗段升运装置、底盘及行走机构、驾驶室与智能化系统等组成，如图 7-20 所示。

切梢器：安装在机器的前上方，在收获作业时，根据甘蔗的生长状况，调节切梢器的高度，以便将蔗梢切去。该机安装两个圆盘式切刀，有的机具安装一个圆盘式切刀，作用都是将直立的甘蔗梢切去，切梢高度可自动调节，根据切梢要求，随时调节切割位置。

分禾扶倒器：分别安装在割刀前面左右两侧，因为部分甘蔗在收获时存在倒伏情况，在两行间甘蔗有少部分交织在一起，所以在收获时，切割前首先应将两行间交织在一起的甘蔗分开，并由带螺旋齿的锥形辊将倒伏的甘蔗扶起，以便进行切割。分禾扶倒器的离地间隙为浮动式，可自动控制，如图 7-21 所示。

切割器：由左右两个回转圆盘组成，每个圆盘上固定有 4 把甩刀，如图7-22所示。在工作时，圆盘回转，固定在圆盘下面的甩刀伸出，切割甘蔗。该装置是甘蔗收获机的主要工作部件之一，切割质量取决于甩刀数量与安装角度等，所以

切刀的数量和角度都是在试验基础上确定的。甘蔗种植一次，要收获三年，但由于宿根蔗品种退化比较严重，一般收获两年。对切割后的留茬要求较高，切口要平整，尽量避免留茬破裂，否则将影响甘蔗的发芽率和芽的质量，而发芽数量和芽的质量直接影响甘蔗的产量，所以对切口要求较严格，要保证留茬高度和留茬均匀一致性，该切割器的切割高度实现自动控制，可满足留茬高度和均匀一致性的要求。

图 7-20　AOSTOF T 7000 型甘蔗联合收获机

图 7-21　分禾扶倒器

输送喂入装置：由 4 组橡胶辊组成，每组为上下配置，上辊为浮动式，橡胶辊表面带有波纹形锯齿条，目的是提高抓取输送能力，同时也有对甘蔗叶的揉搓作用，为剥叶打下基础。每组橡胶辊都是相反方向向后旋转的，因切割后的甘蔗是根部首先进入输送喂入辊的，经上下配置的 4 组输送喂入辊后进入到剥叶装置。输送喂入装置都是由液压马达驱动的，输送喂入辊的转速可根据需要进行调节，该调节装置也是由液压和电子系统组成的。输送喂入装置如图7-23所示。

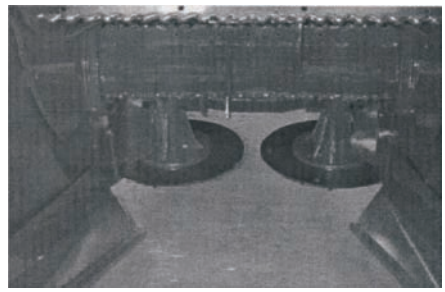


图 7-22　切割器

剥叶装置：该装置由一对橡胶辊组成，作用是将输送喂入装置喂入的甘蔗的叶剥掉，其中一个辊带有剥叶齿板，另一个为鼓形橡胶辊，中间直径大，两端直径小，喂入的甘蔗主要集中在中间，在剥叶齿板的打击和梳刷作用下，蔗叶被剥掉，并排出机外。剥叶齿板的材料有橡胶齿板、尼龙刷和刷板等类型，这些元件都可以更换，因甘蔗剥叶摩擦、梳刷使这些剥叶元件磨损很快，所以必须及时更换，否则会影响剥叶效果。剥叶辊的转动由液压驱动，速度可自动调节，根据剥

叶的干净程度调节转速，以满足剥净率高的要求。剥叶装置如图 7-24 所示。

切段装置：剥叶后的甘蔗经一对限速辊进入切段装置。限速辊使进入切段装置的甘蔗的输送速度保持在需要的范围内，这是因为甘蔗经输送辊时速度较快，要适当降低输送速度，否则将影响切段性能，使切段质量下降。该限速辊与切段滚筒的速度是相互配合的，实现自动控制转速，达到理想的切段要求。

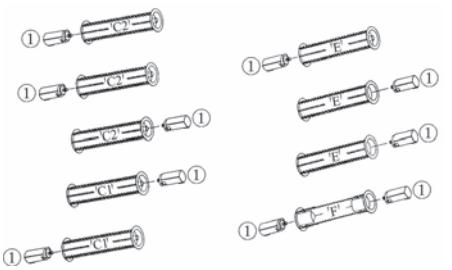


图 7-23　输送喂入装置

一般切段长度为20 ~ 30cm。切段滚筒上下各一个，每个滚筒上固定三把切刀，并可自磨刃，在切段完成时，上、下滚筒的切刀正好相接触，完成自磨刃。切段滚筒如图7-25所示。

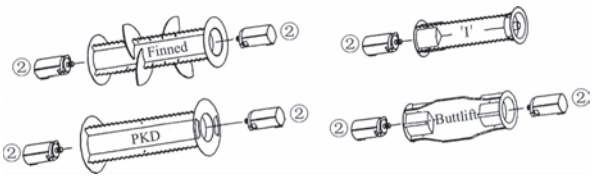


图 7-24　剥叶装置

切段后的蔗段中含有碎杂余，在进入运输车前应清理干净，该机有二次清杂装置。切段后吸杂排风机将夹杂在蔗段中的碎杂余清除掉，但有少量碎杂余仍夹杂在蔗段中没有清除，随蔗段进入升运装置中，在蔗段被升运装置送到物料车的过程中，排杂风机将夹在蔗段中的少量碎杂余进一步清除后，蔗段进入到物料车中。

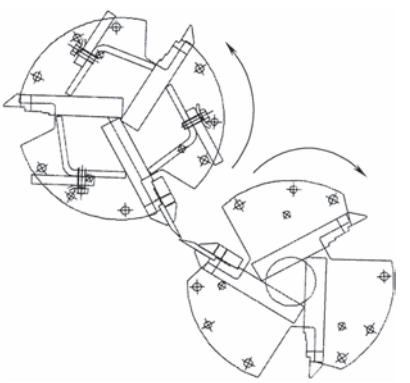


图 7-25　切段滚筒

蔗段升运装置：由封闭壳体和耙式输送链组成，切段后的蔗段由耙式输送链送到物料车中，输送链速可调，根据物料量调节输送速度，以便将切段后的蔗段及时输送到物料车中，避免发生堵塞等故障，保证输送通畅。

底盘及行走机构：该机采用全液压无级变速底盘，由液压系统实现驱动和转

向，液压底盘结构简单、质量轻、振动小，有利于提高零部件的使用寿命，甘蔗自走机本身比较重，采用液压底盘可减轻质量，提高通过性能。另外，液压驱动底盘实现了无级变速，根据收获作业的需要，可随时调节所需要的不同收获速度，达到理想的作业要求。液压底盘维修保养简单、方便，操作轻便省力，可减轻驾驶员的疲劳程度。行走机构为轮式，在一般田间均可收获作业，但在湿软地通过性较差，作业效率低，转向困难。该公司生产使用的 7700 型的行走机构为橡胶履带式，接地压力小，湿软地通过性好，适于湿软田收获作业，用户可根据田面情况，选择适用的机型。驾驶室为全封闭恒温，操作条件舒适，驾驶员视野好。

全封闭驾驶室对于甘蔗收获机器来讲很重要，因在收获作业中，机器周围污染很严重，灰尘碎杂余满天飞，如果操作者在露天操作，则不仅工作环境差，而且影响驾驶员的操作，视野也不好，从而最终影响收获效率，所以封闭式驾驶室不仅改善了操作者的工作环境，而且为高效收获作业提供了条件。

智能化系统：该机工作负荷较大，收获作业时甘蔗往往有些倒伏，在收获过程中扶倒伏、切割、输送、剥叶及切段等各流程很容易发生故障，为保证机器的正常作业，在各主要环节都实现了监控、显示和报警，如切梢、割茬高度等的自动控制；输送、剥叶及切段的监视、显示和报警等。为保证安全作业，避免人身伤害，机器具有自动停止功能，只要驾驶员离开座位，机器就会自动停止工作，各工作部件停止运转。实现了自动注油及车速的自动控制等。另外，在收获作业中，工作部件遇有铁器时，该机可实现自动停车，避免损坏机器。

7.3.7 马铃薯联合收获机

目前国外使用的马铃薯收获机主要有自走式和牵引式两种，收获行数为 2 行和 4 行，使用较多的为 2 行机，更换抖动链等部件后，可收获胡萝卜、洋葱等根茎类作物，实现一机多用。

现介绍挪威安德哈根（Underhaug）公司生产的 2 行马铃薯自走式联合收获机。该机主要由切秧装置、镇压限深轮、挖掘机构、抖土分离装置、根茎排除装置、星齿式分离装置、板式升运装置、集薯箱、底盘及行走机构、驾驶室与智能化系统等组成，如图 7-26 所示。

切秧装置：安装在挖掘机构前面，在挖掘前，先将马铃薯、胡萝卜或洋葱的地上部分的秧（茎叶）切掉还田。该装置采用甩刀式切碎器，高速旋转的甩刀

将茎叶切碎还田，便于后序的挖掘和清选。

镇压限深轮：每行配有一个，安装在挖掘铲前面，轮宽为600mm，如图7-27所示。

图 7-26　马铃薯自走式联合收获机

图 7-27　镇压限深轮

镇压限深轮实现对地面的仿形，避免因地面不平影响挖掘性能，通过改变自动控制的浮动滚轮与挖掘铲之间的高度来实现挖掘深度的调节，使得挖掘干净，减少薯块的损伤；挖掘角度的调节也由液压电子元件组成的自动控制装置来实现，根据不同种类的根茎作物来调节挖掘角度。在牵引式马铃薯联合收获机上镇压限深轮与挖掘铲间的高度调节、挖掘角度调节都是手动的。每行装有3个异形挖掘铲，在挖掘铲尾部装有可向上转动的排石附铲，目的是将挖掘后的土中石块除去，以免损坏分离部件。

抖土分离装置：挖掘后的带泥土及根茎等的薯块首先进入第一级抖土分离装置，目的是将薯块中的泥土和部分根茎分离出去，该装置是由多根固定在两侧橡胶带上的钢辊组成一体的栅栏式分离部件，全幅抖动分离，分离面积大。第一级抖土分离装置倾角较大，这是因为挖掘后的物料直接进入第一级抖土分离装置，土比较多，倾角大分离较快。第二级抖土分离装置的结构形式与第一级相同，主要区别在于第二级分离倾角小，这是因为进入第二级的物料中含土量比第一级少，所以抖土分离角度小，比较平缓，避免损伤物料。抖动分离振幅可调，根据收获作物的性状和土质等调节抖动振幅，以达到较好的分离效果。栅栏式分离部件如图7-28所示。

根茎排除装置：经第一级、第二级抖土分离装置后，仍有少量的根茎夹杂在薯块中，必须分离出去。

当薯块和部分根茎输送到排茎胶辊时，果实落到第三级抖土分离装置，而根茎在包有橡胶的直立铰接的栅栏作用下，由两个橡胶辊之间排出机外，直立的包有橡胶的栅栏与排茎胶辊等宽，排茎效果比较好。

第三级抖土分离装置主要是排除包在薯块表面没有清理干净的泥土和土块，该装置是由多根包有橡胶齿的钢辊组成的栅栏式分离装置。排茎胶辊与第三级分离装置的高度差为 0.4 ~ 0.5m，薯块和夹杂在薯块中的土块落下时，某些包有泥土的薯块和土块靠重力落在橡胶齿上时，有些土块和薯块表面的泥土被橡胶齿冲击破碎，分离出去，而仍夹在薯块中的泥土在第三级抖土分离装置中在橡胶齿的冲击和梳刷下破碎并分离出去，而薯块进入下一道工序。

图 7-28　栅栏式分离部件

板式升运装置：该装置将分离后的薯块输送到集薯箱中。升运装置采用的是栅栏输送 + 橡胶板组成的耙式提升输送形式，采用橡胶板耙的目的是避免损伤薯块。为提高生产效率，减少卸块次数，采用较大的集薯箱，容量为 6t。

该机底盘采用全液压无级变速，液压驱动和转向，实现了无级变速。液压底盘结构简单、质量轻、振动小，使用方便、可靠，可提高零部件的使用寿命。液压底盘保养维修方便，操作灵活、轻便、省力。

装有全封闭恒温驾驶室，操作条件舒适，可减轻操作者的疲劳强度，驾驶室视野好，为高效可靠的作业提供了条件。

该机采用液压电子等高新技术，实现了机电液一体化，使用可靠，挖掘性能稳定。其主要工作部件均装有监控、显示和报警装置，以避免发生故障，保证机器正常作业。

7.3.8　西红柿联合收获机

欧美等地区发达国家用于深加工的西红柿基本上实现了收获机械化，都采用一次性收获，收获时 90% 左右的西红柿处于成熟状态，茎叶比较茂盛，采用的机型均为自走式，现介绍意大利布宜诺斯（GUARES）公司生产的 G89/93. NC. 32 型西红柿联合收获机。

该机主要由割台、中间输送和除土装置、回转振动式脱果装置、除秧输送带和清选风扇、果实水平输送装置、横向输送装置、光电分选器、侧向输送装置、提升输送装置、行走底盘、行走机构、驾驶室及智能化控制系统等组成，如图 7-29 所示。

割台：主要由左/右分禾器、未割边螺旋扶倒输送辊、切割器、浮动胶轮以及上、下输送装置等组成，如图 7-30 所示。

图 7-29　G89/93 NC.32 型西红柿联合收获机

图 7-30　割台

在收获时，左/右分禾器内的作物沿分禾器内侧向后输送，在未割边的倾斜式螺旋扶倒输送辊作用下，将倒伏作物扶起，向后输送，并由切割器切割，在装有带橡胶齿的上输送装置作用下，作物倒向下输送装置（带橡胶齿格栅），在向后输送过程中，碎泥土沿两个格栅之间的间隙漏出机外，而带有果实的西红柿秧茎继续向后输送。收割台切割器的后面左右两侧装有浮动胶轮，收获时，割茬高度由两个浮动胶轮控制，浮动胶轮与切割器在垂直方向的相对位置可自动调节，以满足不同割茬高度的要求。由于割茬高度由浮动胶轮控制，所以在高低不平的田间作业时，割茬高度始终保持一致。在收割台上装有自动对行装置，在收获作业中完成自动对行收获，不用驾驶员手控。

中间输送和除土装置如图 7-31 所示。

中间输送装置由格栅组成的输送带、可调节间隙的长辊等组成。每个格栅由圆钢辊外包橡胶组成，并固定在两侧的橡胶平带上。由收割台输送来的带有果实的秧茎向中间输送的过程中，秧茎中夹带的泥块由收割台输送装置和中间输送装置的间隙落下，有些小的果实也可能随之落下。下输送带与长辊之间的间隙可调，使土块经间隙排出机外，而果实留在下输送带上。

回转振动式脱果装置：主要由多根橡胶杆齿组成的回转振动式脱果滚筒及分离凹板等组成，分离凹板也是由包有橡胶的格栅组成的。脱果装置在回转运动的同时，橡胶杆齿产生振动，如图 7-32 所示。

在脱果装置橡胶杆齿的振动撞击下，果实从秧茎上脱下来。橡胶杆齿与滚筒成切线安装，与秧茎和果实接触的是整个橡胶杆齿的圆周面，而不是齿尖，所以

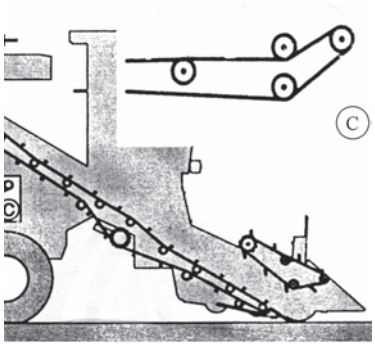


图 7-31　中间输送和除土装置

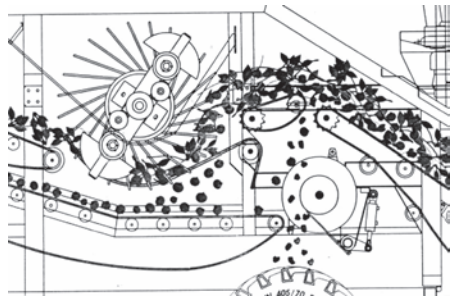


图 7-32　脱果装置的结构

在接触时产生振动，秧茎上的果实在橡胶杆齿的振动撞击作用下，从秧茎上脱落下来，并经下面的格栅式凹板落到下输送带上，而秧茎在橡胶杆齿作用下，被拨送到脱果橡胶杆齿后方的秧茎输送带上，秧茎和碎杂余在秧茎输送带和气流作用下排出机外。果实由下格栅式输送装置输送到后部出口，并由后部侧向出口落到下面的纵向输送装置上。西红柿在下落过程中，由光电分选器将青色的西红柿捡出去，排出机外，而成熟的西红柿在下输送格栅上向前输送到提升输送带，并装入运输车。有的机型不装光电分选器，而是由人工将不成熟的青色西红柿捡出去，2～3 人站在向前输送格栅的侧面，在输送过程中捡出不成熟的果实。提升输送带为橡胶耙齿式，不损伤西红柿。

底盘：采用静液压无级变速，由液压马达驱动和转向，使底盘结构简单、使用可靠。行走机构为轮式，因西红柿收获一般都在较干的田间进行，通过性较好，所以轮式能满足要求。底盘与车架的工作部件采用铰接（装有调平机构），收割台与田间有仿形装置，当机器在坡地作业时，底盘行走在有一定斜度的路面上，而底盘上部的所有工作部件仍为水平放置，机器仍可正常进行收获作业，可防止由于机器重心转移而造成翻车等问题。该机配有完善的恒温驾驶室，操作条件舒适，轻便省力。该公司还开发了自动控制、无人驾驶的收获系统，在收获作业中，无须驾驶员，实现了无人驾驶自动对行收获，根据用户需要，可选装。

该机智能化控制系统比较完善，实现了割茬高度自动控制、自动对行、光电分选、自动停机、自动注油、车速自控及输送装置等部分的自动监控、显示和报警。根据用户需要，该机可安装全球卫星导航定位系统等高端先进技术。该机技术先进，实现了高度机械化和自动化，大量采用电子和液压技术，实现了机电液一体化，为高效可靠作业提供了条件。国内还没有西红柿收获机械，这是因为我

国的收获与国外不同。国外西红柿成熟期基本一致，采取一次性收获，这可能与种植品种有关，国内西红柿成熟期差别较大，产区也希望实现机械收获，但要求成熟一个摘一个，一次性收获在目前还很困难。根据我国西红柿采收要求，只能用机器人完成，目前国外使用的机器人也处在研究试验阶段，还没有用于大面积收获。

7.3.9 葡萄联合收获机

目前国内外种植的葡萄主要有酿酒用的葡萄和食用的鲜葡萄。酿酒用的葡萄在发达国家已实现采收机械化，而对于食用的鲜葡萄发达国家已研制出采收机器人，现处于研究、试验和改进提高阶段，尚没有用于生产。

发达国家酒用葡萄采收机基本有两种形式，即牵引式和自走式。

下面介绍凯斯纽荷兰公司生产的 SB65 型自走式酒用葡萄采收机。该机采用高地隙，可跨越葡萄行，就是说在采收作业时，机器的行走轮在葡萄行两侧的田面上，而底盘和驾驶室在葡萄行的上部，作业时，采收部件伸入到葡萄秧中，完成采收和葡萄粒的收集。

图 7-33　SB65 型葡萄采收机

该机主要由采收振动装置、收集系统、清选系统、底盘、驾驶室及智能系统等组成，如图 7-33 所示。

采收振动装置：由 3 个不同的振动装置和弓形金属杆组成，在金属杆前端固定有 S、D、C 系统振动器，它是由一种非常柔软的材料制成的，并弯成弓形（柔软的振动管），如图 7-34 所示。

振动器末端两面都安装了距机器中心相同距离的振动管，这样可形成较大的

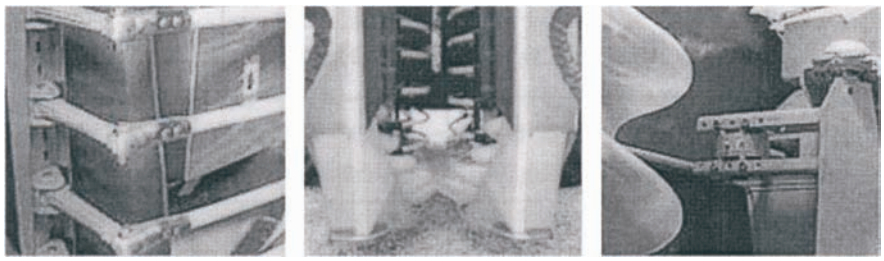


图 7-34　采收振动装置

喂入区域，通向中心的狭窄通道就是振动器实际发生振动的位置，在机器后面再放开。振动器的振幅在振动周期内可以改变，以提高振动器的采振效力。各振动器之间可以调节，根据葡萄生长状况、采收区域的大小来调节振动区域，可减少收获过程中的损坏。柔软的振动器在振动过程中可独自弯曲，从而提高振动效果和不损伤植株及果实。

漏斗状的振动区域使作物逐渐进入机器通道，当机器前进的时候，保持喂入处理区域和藤蔓自由喂入，这种新颖特殊形状的装置可减少对葡萄的损坏。振动器中心对称垂直，能形成比较长的处理区域，如图 7-35 所示。

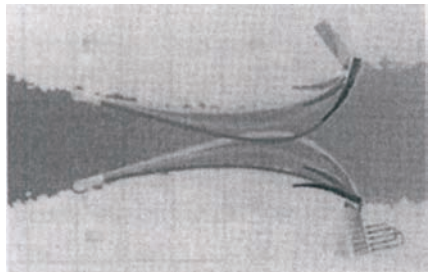


图 7-35　振动器

独特的 BRAUD 收集系统：包括两个运输装置，各有 62 个软食品级聚亚氨酯料斗，这种特征能提高收集的工作速度。该系统直接在不锈钢轨道上运动，根据机器的前进速度决定轨道运动反速度，保持料斗对地的零速度，同时也保证料斗以零摩擦通过葡萄架。出众的收集性能，没有葡萄溢出现象。该料斗可以毫无问题地收获采摘离地面高度仅为 15mm 的葡萄，而不受葡萄束的大小的限制。这种新型料斗通道的末端能够避免葡萄的堆积，保证葡萄平稳安全地输送到储存罐里。

清选系统：每一侧收获通道上都有清选风扇，在振动过程中，有些叶子同时也被振落下来，清选风扇可随时将葡萄叶子清除，防止其落到葡萄中。在顶部，还有两个补充风扇帮助进行清选，在葡萄落到储存罐之前，清除遗留在葡萄中的杂质。

底盘和驾驶室：该机底盘采用静液压无级变速，液压驱动和转向，使用可靠。行走机构为轮式，使用宽橡胶轮胎，作业时可采用四轮驱动，运输时可转换两轮驱动。

驾驶室为恒温封闭式，所有操作和控制系统的显示和报警装置均装在里面，驾驶员可随时观察到机器的工作状况。

智能系统：SB65 型葡萄采收机带有横向调节系统，能够补偿 30% 的倾斜，调节稳定可靠。另外，为适应高矮不同的葡萄收获，底盘离地间隙可自动调节，调节范围为 600mm。横向调节系统如图 7-36 所示。

图 7-36　横向调节系统

计算机监控所有收获部件和安全功能，设有一个停止按钮，按下时，或一旦发动机出现问题时，所有液压和电子功能都会停止，液晶显示器显示出故障的部位。

7.4　新技术应用

欧美等地区发达国家使用的收获机械普遍采用应用于计算机、航天等领域的微电子技术、机电液一体化和自动化技术，使联合收割机在作业时达到高度自动化、智能化，不仅提高了收获可靠性和安全性，而且作业效率和收获性能都有显著提高，具体分析如下。

7.4.1　采用新技术，使机器结构简单紧凑

电子液压等高新技术的应用使机器结构简单、紧凑。如联合收割机底盘为静液压无级变速，由液压马达、液压泵等代替了结构复杂的变速箱及其他机械结构，不仅简化了结构，也减轻了质量，液压底盘振动和噪声小，有利于提高零部件的使用寿命，且操作轻便省力，底盘使用可靠性好，保养维修简单、方便。

另外，由于采用液压驱动，机器前进速度为无级变速，可满足机器收获作业时所要求的任何速度，使机器收获作业的速度合理，能充分发挥机器的作业效率和减少因前进速度不合理造成的堵塞故障或损坏某些零部件。

联合收割机的某些关键部件采用液压电子技术使结构简单、传动简化，如甘蔗联合收割机的喂入输送装置和剥叶装置采用液压马达驱动代替机械结构，省去

了复杂的转向箱体和传动装置，简化了结构，减轻了质量，又提高了使用可靠性，且维修、保养简单方便。

7.4.2 提高了整机的使用可靠性和作业效率

液压和电子技术的普遍采用显著提高了收获作业的可靠性和作业效率。发动机和关键工作部件均实现了监控、显示和报警，有效地控制了这些部件在正常条件下工作，避免故障的发生。如发动机负荷控制，使发动机始终处于合理的负荷工况下工作，能满足收获部件所要求的合理线速度和喂入量。如果没有负荷监控，超负荷作业时，不仅会使发动机本身的某些零件损坏，而且往往会造成工作部件堵塞或损坏，影响收获。装有负荷控制装置就可随时调控，保证发动机在正常负荷条件下工作。

另外，在机器的主要工作部位也都装有监控、显示和报警系统，监控工作部件的工作情况，以便不正常工作时及时采取措施，防止发生堵塞等故障，保证机器正常作业。如谷物联合收割机的脱粒、清选、二次回送、切碎等部位都装有监控系统，随时监控工作情况，在脱粒装置部分，如果喂入量过大则往往造成堵塞甚至损坏零部件，由于物料过多，分离性能下降，损失增加，实现监控以后，发现喂入量过大时，可及时采取措施，降低前进速度或减小割幅等，保证机器的脱粒装置处于正常工作状态。清选系统是联合收割机出现故障较多的地方，如在清选负荷过大、物料潮湿等情况下，经常发生故障，影响收获效率，实现监控后，根据筛子的负荷量可随时调节机器的收获速度等，使清选装置处于合理的工作状态。

在经济作物方面，如采棉机、亚麻收获机及甘蔗收获机，在关键的工作部件上都装有监控、显示和报警装置。采棉机的采摘、脱棉部件以及棉箱室等都装有监控系统，使采摘、脱棉等主要装置始终处于正常工作状态，避免堵塞等故障发生，提高了机器作业的可靠性和收获效率。否则，如发生堵塞，则排除时间长、劳动强度大、损失多，会影响收获效率。

在青饲作物联合收割机上，喂入装置安装有金属探测器，在作业时，田间往往有金属物随青饲作物一起进入喂入装置，装在喂入辊中的金属探测器能及时发现，并停机排出，保证机器安全可靠作业，否则金属物进入切碎装置等工作部件，往往造成某些零部件的损坏，而若夹杂在物料中，则会影响饲喂效果，甚至危及牲畜的发育。青饲机在收获青饲玉米时，由于作物茎秆粗，因此切碎装置动

刀磨损很快，必须经常磨刀，否则将影响切段质量，若装有自动磨刀装置，随时进行自动磨刀，不仅提高了工作效率，还保证了切段质量。若进行人工磨刀，则要经常停机，影响收获效率。

亚麻收获的拔麻装置和输送装置都装有监控、显示和报警系统，为拔麻和输送等关键环节的可靠作业提供了保障，同时也提高了拔麻质量，避免损伤和折断麻茎，为高效、可靠作业创造了条件。

甘蔗的切割、喂入输送、剥叶及切段等关键部件都装有监控系统，随时监控作业情况，发生不正常情况时，可随时采取措施，保证机器高效、正常作业。

7.4.3 提高收获质量，满足农业要求

采用高新技术，使收获作业质量好，满足农艺要求，为下季作物种植打下基础。谷物联合收割机实现了割茬高度自动控制，能保持割茬平整一致，否则由于田面不平，收获后的割茬往往产生高低不平，留茬高的地方对下季播种有较大影响；另外，会使茎秆量减少，特别是半喂入联合收割机，要求保留完整茎秆，留茬高时，影响茎秆产量。自动对行可实现满幅作业和不漏割，否则在驾驶员疲劳时往往产生漏割，造成损失。大型机的割台比较宽，一般为 5 ~6m，所以都采用左右自动仿形，不仅可保持割茬一致，而且可避免割台某些零部件的损坏。

在收获作业中，由脱粒装置排出的茎秆比较长，必须切碎还田，切碎装置实现监控后能保证切段质量，否则长短不一，长茎秆不易腐烂，起不到增加土壤肥力的作用，同时也影响下季作物的种植。

青饲作物联合收割机切段质量的监控。切段质量对饲料效果影响很大，太长牲畜不易消化，吸收不好，有时还剩在槽内，造成浪费。实现切碎滚筒监控，使切段质量始终在要求范围内，满足饲喂要求。

经济作物甘蔗的联合收割机圆盘切刀的监控。因为甘蔗是三年生作物，要求切割质量好，不损伤留茬，否则影响甘蔗的产量，实现监控以后，能保证切割速度，根茬质量好，避免产生根茬撕裂等问题，有利于提高根茬的发芽数和发芽质量。如切割速度不够，则往往产生根茬裂纹和切割不齐等问题。

半喂入联合收割机切碎装置的监控功能。保证切割线速度，使切碎质量好，有利于茎秆切碎还田，增加土壤肥力。如果切碎质量不好，有些长茎秆将影响下季作物的种植。喂入深度的自动控制，使脱净率高，茎秆完整性好。如果喂入过深，则会使茎秆完整率低，且碎杂余量多，增加分离和清选负荷；如果喂入过

浅，则部分矮秆的穗部不能全进入脱粒区，使部分籽粒脱不净，造成损失，所以喂入深度自动控制非常必要，保证了脱粒质量。

7.4.4 减少损失，增产增收

评价联合收割机收获性能的最主要指标就是损失率，尤其在国内，机器损失率将直接影响到联合收割机的信誉度。因此，在损失率方面都采取了不少措施，以提高性能，减少损失。欧美等地区许多国家在联合收割机上装有籽粒损失监测系统，联合收割机在作业中，可随时监测籽粒损失多少，如发现损失多，则及时采取措施，降低损失，使损失率始终保持在所要求的标准范围内。对粮箱充满情况进行监视和报警，避免粮箱装满后，粮食外溢，造成损失。

对于青饲作物联合收割机，割茬高度的监视是增加青饲料产量的重要方面，如果割茬高，则收获青饲料产量下降，损失增加，实现割茬监视以后，作业中割茬高度始终保持在要求的范围内，有利于提高青饲料产量，另外整齐的低割茬有利于下季作物种植。

采棉机的采棉头实现了自动仿形，避免因地面不平，造成摘棉高度不一致，使部分结铃低的棉花采不到，造成损失。采用自动控制的浮动式采棉头，无论田面情况如何，采棉头离地高度均保持一致，使低结铃的棉花也能采摘，不会产生漏采现象，另外，也可保证采棉头正常作业，如果没有自动控制装置，则在高低不平的田间作业时，采棉头往往产生撞地现象，造成某些零部件的损坏。

马铃薯联合收获机挖掘深度的监控。因块根作物的果实都生长在地下，深浅不一，为防止漏挖或损伤果实，挖掘深度的控制尤为重要。如果挖掘浅，则会造成少量果实漏挖或损伤；如果挖掘过深，则消耗功率增加，造成不必要的能源浪费，并使抖土分离装置负荷增加，不仅影响分离性能，而且往往造成堵塞或零部件的损坏。

马铃薯、洋葱和胡萝卜秧切碎装置的切碎高度实现了自动控制，保证切碎质量，还不伤及果实。该装置把地上部分秧切去，以满足收获果实的要求，如果没有高度自动控制，切后仍有少量秧连在果实上，则还要人工辅助，会增加收获成本；如果切得深了，则有可能将部分果实的头部削去，而削去的果实不易存放，往往会霉烂变质等，造成损失。所以切碎装置的自动控制，对于根部作物收获非常适用。

7.4.5 提高机器收获的适应性，保证机器正常作业

在大中型联合收割机上，装有地理信息系统，可测出收获作业田间土壤类型、地形地貌、潮湿程度，驾驶员根据这些情况，确定机器行走机构，是采用轮式还是采用半履带式等，以免在作业中临时更换，影响收获效率。

作物生长状况及产量测试系统重点测试粮食的亩产量及籽粒和茎秆含水率等，使驾驶员提前了解到待收作物的产量和含水率，以便把机器调整到收获该种状况作物时的状态，避免在田间临时调整，耽误时间，使机器更好地适应收获该种状况的作物，提高收获效率。

大型谷物联合收割机的脱粒间隙实现自动控制及清选机构的自动调平装置，提高了收获高产量和高秆作物的适应性，避免收获高产高秆作物时产生堵塞等故障，影响收获效率和损坏零部件。

7.4.6 改善驾驶员的工作条件，降低劳动强度，有利于提高工作效率

欧美等地区国家的自走式联合收割机都配有封闭恒温驾驶室，大大改善了驾驶员的工作条件。收获季节气候炎热，并且收获作业时，灰尘、碎杂余等笼罩在机器周围，如果没有封闭驾驶室，则驾驶员除要忍受炎热气候外，还满身尘土，工作条件相当差，有了密封驾驶室，不仅改善了工作环境，而且收获视野好，驾驶员不易疲劳，有利于提高收获效率。由于机器实现了机电液一体化，操作灵活方便，驾驶员在驾驶室内就可以完全观察到机器的工作状况，避免了许多不必要故障的发生。监控系统可随时反映出各工作部件的工作情况，根据监视系统反映的状况，随时采取措施，保证机器正常作业，如果没有智能化系统，则机器会经常发生堵塞等故障，需要停车，驾驶员去处理，不仅增大劳动强度，而且也影响收获效率。由于自动化程度高，因此维修和保养简单、方便。如注油，若人工完成，则费时费力；而若能实现自动润滑，则快捷方便，省时省力。

7.4.7 安全性好

由于联合收割机具有自动停车功能，因此大大提高了机器使用的安全性，避免了人身伤害事故的发生。如没有该功能，则在作业中有时会发生人身事故，所以联合收割机的自动停机功能对于安全作业是非常必要的。

7.5 国内收获机械产品技术与发达国家的主要差距及展望

发达国家的收获机械技术先进，大量采用电子、液压等高新技术，实现了机电液一体化，现在又将微电子技术、地理信息系统及产量、损失等检测技术应用到联合收割机上，达到高度机械化、自动化和智能化，使得收获机械作业性能好、适应性强、使用安全可靠、作业效率高、操作舒适方便。具体差距简述如下：

7.5.1 技术水平低

发达国家收获机械大量采用电子、液压等高新技术和计算机、航天等微电子技术，技术先进，大大提高了收获机械的性能、可靠性和收获效率，由于实现了高度机械化、自动化和智能化，极大地提高了收获机械使用的安全性、舒适性和操作的方便性。我国目前使用的联合收割机（半喂入联合收割机除外），与发达国家产品相比根本不在同一个档次上，在技术先进性方面差距大，国内使用的谷物全喂入联合收割机主要以机械装置为主，辅以电子和液压装置，操作系统主要是手动，智能化装置很少，所以机械化和自动化程度与国外机相比比较低。

现就联合收割机的几种关键部件进行具体比较，可看出存在的差距更为明显。国外机的底盘都采用静液压无级变速，实现液压驱动和转向，简化了结构复杂的变速箱，使结构简单，质量轻，使用可靠，操作轻便、灵活。而国内机底盘主要有两种，均以机械变速箱为主，一种为机械式齿轮变速箱，另一种为齿轮变速箱加胶带无级变速，结构复杂，使用可靠性差，经常出现离合不清、挂挡困难及拨叉过早磨损等问题，所以在底盘方面与国外先进产品相比差距较大。

发达国家产品在各工作部位实现监控、显示和报警，如谷物联合收割机、采棉机、甘蔗收获机及亚麻收获机等的割台实现自动仿形，适应性强，作业质量好；脱粒和清选装置等部位的监视、显示和报警可避免故障发生，保证机器正常作业；脱粒间隙和清选装置的调平都实现了自动控制，满足不同产量和高矮秆作物收获的要求，国内绝大多数机器没有此功能，仅少数机型设计有脱粒间隙调节装置，但也是手动的。国内机除半喂入联合收割机外，基本没有智能化监控系统，只在个别机器上装有脱粒和清选部件的转速监视和报警装置。

7.5.2 使用可靠性差

国产机在性能上与发达国家产品相比，在同一档次上，有些机型个别性能指

标还优于国外机，但在使用可靠性方面相差较大，如谷物自走式联合收割机平均无故障工作时间（MTBF）为40h左右，而国外机平均无故障工作时间已达到100h以上，可靠性相差较大，其主要原因有以下三点：

1）我国收获机械制造水平低，多数中小型生产企业设备较陈旧，加工精度低，多为手工操作，且检测手段也落后，即使是大型生产企业，与国外企业相比也有较大差距，发达国家的大中型企业广泛采用现代化制造技术，采用计算机和激光等技术，如计算机控制的机器人焊接、装配及涂装生产线，箱体类零件、复杂板件及异形管件等都在加工中心进行加工，编好程序后，自动完成加工，完全满足设计要求。国外企业检测手段先进，实现了计算机化，而国内多数企业仍由人工完成，所以在制造方面与国外相比有很大差距。

2）发达国家的产品实现了智能化监控，在作业中对工作部件进行全程监控、显示和报警，一旦发现某工作部件有问题，驾驶员将及时采取措施，排除存在的问题，保证机器处于正常工作状态，避免故障的发生。

3）我国联合收割机的可靠性差，故障率高，发动机故障率占联合收割机故障率的1/4～1/3，与发达国家的发动机产品相比可靠性差，我国发动机的平均无故障工作时间不超过280h，国外的平均无故障工作时间已高于330h，这也是我国联合收割机故障高的主要原因之一。

7.5.3 配套件制造质量差

配套件制造质量差，直接影响联合收割机的作业效率和使用可靠性，联合收割机结构复杂、零部件多，是集机械、电子、液压等于一身的高新技术产品，所以联合收割机的制造质量和使用性能及可靠程度除受机器本身的制造和装配质量影响外，与配套件质量也有重要关系，我国联合收割机故障率的1/3来自配套件，与国外机配套件相比，质量相差甚远，急需提高联合收割机配套件轴承、V带、链条、液压元件和电子元件等的制造质量。因国产件质量较差、使用可靠性低，我国有些大型谷物联合收割机、青饲作物收割机等为保证机器的质量和使用可靠性，发动机、V带、无级变速带和关键的液压件等都采用进口件，如采用德国道依茨的发动机，V带由德国欧皮特公司进口，静液压无级变速底盘使用的变量泵和液压马达大都是进口件。

配套件的差距主要表现在以下几方面（以发动机和橡胶带为例）：

1）国产发动机存在的主要问题是大而重、漏油、噪声大，发动机的某些零

件加工精度低，使发动机噪声较大。由于精度低，装配后结合不严密，密封性差，往往产生漏油问题；由于制造精度达不到设计要求，某些零件在工作过程中往往出现过早磨损或损坏，缩短了使用寿命，所以在作业中，故障率较国外机高。

2）橡胶带存在的问题主要是使用寿命短，磨损快，易拉长，作业中需要经常张紧，否则会影响作业效率或造成某些工作部件的堵塞故障，特别是承受负荷较大部位的 V 带，易拉长的现象很明显，有些大型机工作几小时就要张紧，并且磨损比较快，使用寿命短。所以要提高联合收割机的使用可靠性，必须提高配套件的产品质量。

7.5.4 材料工艺及热处理工艺差

联合收割机使用的材料中，板材和轴类及齿轮类零件较多，在使用过程中往往出现板类零件产生裂纹、变形等情况，而轴类零件有时发生断裂问题，齿轮发生断齿或磨损较快等问题，这些零件的尺寸和所用材料品种与国外机相同，但国外机没有发生断裂和损坏等情况，说明国产机所用材料的性能比国外差，工艺方面也存在一定的差距，国外机的主要零件都是在高精度数控设备上完成的，而国内中小企业的设备加工精度低，有些还是手工操作，甚至有些关键件的加工模具本身精度就达不到设计要求，所以加工出来的零件质量很难保证。

联合收割机焊接件较多，在使用中经常出现开焊等问题，而国外机根本就没有开焊现象，国外采用机器人焊接，质量好、牢固可靠，而国内都是人工手焊，往往存在漏焊或虚焊问题，所以不同的焊接工艺，质量也是不同的。

在热处理方面也有较大差距，国外热处理工艺先进，多为计算机程序控制，热处理质量好，满足设计要求，国内在热处理方面多为手工控制，少数大型企业采用计算机控制，但控制程序可能还有待提高，经热处理后的零件在使用中仍有易磨损或产生裂纹等问题，而同样的零件、同样的热处理方式，国外机就没有易磨损或产生裂纹等问题。

7.5.5 外观和涂漆质量差

国外机外观美观大方，涂漆平滑光亮。国外机的外观板件都采用流线型设计，过渡圆滑，没有硬的棱角，看起来舒适、美观，国外机外观件均采用整体冲压成形，完全符合设计要求，这种整体成形模具价格昂贵，使整机成本增加。国

内机外观与国外机相比要差，虽然有的机型也采用流线型设计，但主要由手工或部分采用模具完成外观板件的加工，所以流线型过渡不流畅，有些中小型企业甚至不采用流线型设计，过渡处均为棱角，所以外观比较差。国内主要考虑了生产成本问题，其外观的设计和制造完全能达到国外机的水平，但会增加成本，用户接受不了，随着农村经济的不断发展，购买力提高，可实现外观的美观大方。

另外，国外机采用无机漆，采用自动喷涂、烘干房烘干。无机漆在太阳长时间照射下也不褪色；自动喷涂均匀平整光滑，喷涂后马上到烘干房烘干，工艺合理，涂漆质量好，但无机漆价格比较昂贵，自动喷涂和烘干房烘干成本高。国内中小型企业一般都是手工喷涂和自然晾干，有些大型企业采用电泳涂漆然后烘干；国内都采用有机漆，价格比较便宜，但时间长了，在阳光照射下会发生褪色等问题，所以涂漆的平整、光亮度都比烤漆的要差。

实现收获机械化是农业现代化的需要，是粮食增产丰收的保障，是改善农民生产和生活条件、增加农民收入、促进农业和农村经济发展的重要途径，所以必须大力发展收获机械，满足市场需求。目前，谷物联合收割机种类比较多，基本上能满足用户需要，从发展方面看，谷物收获机械应进一步提高收获效率和使用可靠性，在现有机型的基础上，逐步采用电子、液压等高新技术，提高技术先进性，实现技术先进、经济实用。大中型谷物联合收割机应向多功能方向发展，通过更换某些部件，实现多种作物的收获，达到一机多用，降低使用成本，提高经济效益。另外，我国在经济作物、鳞茎类作物和果蔬作物的收获方面，起步较晚，机型较少，尤其果蔬作物的收获技术刚刚起步，尚无成熟机型，这些作物收获劳动强度大、用工量多、收获成本高，因此必须加大开发力度，大力发展这些作物的收获机械，研制适应产区需要的机型。

第8章　田间作业机具

8.1　概述

田间作业机具主要指耕整地、播种、移栽、管理等环节使用的机具。本章主要以为大功率拖拉机配套的大型复式作业机具为重点，介绍复式耕整地机械、精密播种机械、中耕除草施肥机械、栽植机械等。这些机具都具有宽幅、高速、多功能、精细化等特点。大型复式作业机具广泛采用机电液气一体化技术、新材料技术、先进制造技术，可靠性好，自动化程度高，并进一步向大功率、智能化、信息化、资源节约及环境保护的方向发展。

我国大型复式作业机具研究起步较晚，这与我国农业农村经济发展水平、农户经营体制有关系，在技术及产品水平上与发达国家相比还存在较大差距，尤其是在信息技术、电子技术、生物技术、先进制造技术与农机具应用上落后更多，且这种差距还在继续扩大。长期以来，我国农业以小农户经营为主，大部分地区耕种主要以小型拖拉机为动力，配套的田间作业机具功能单一，拖拉机反复进地，致使耕层变浅、犁底层加厚、作业成本攀升，又由于过度施用化肥，土壤板结越发严重，土壤蓄水保墒能力降低，严重影响作物对水分和养分的吸收，已成为粮食生产、增产的障碍。20 世纪 80—90 年代，我国一些地区先后利用世行贷款、补偿贸易、政府贷款等方式，引进应用了大量的大功率拖拉机及配套农机具，显著提高了农机化水平。实践证明，大型复式作业装备能抢农时、适农艺，增强农业抵抗自然灾害的能力，保证深松改土、精密播种、变量施肥等先进农业技术实施到位，具有显著的增产增收作用。

进入 21 世纪以后，特别是自 2004 年国家实施农机购置补贴政策以来，农机作业服务组织、农机专业合作社空前发展，到 2011 年已超过 17 万个，有力地带动了大型复式作业装备技术集成应用和规模化推广。截至 2011 年，全国耕种收综合机械化水平达到 54.5%，全国农机总动力达到 9.7 亿 kW，其中大中型拖拉机保有量达到 433.8 万台。当前，我国总体上进入以工促农、以城带乡的发展新

阶段，进入加快改造传统农业、走中国特色农业现代化道路的关键时期。工业化、城镇化、信息化和农业现代化同步推进，土地流转集中，农村劳动力转移，农业生产与生态环境协调发展，加快提高我国大型复式作业装备的科技创新和制造水平，用国产大型复式作业机具装备我国现代农业，提高农业生产规模化、标准化水平，提升农业综合生产能力和国际竞争力，保障资源高效利用与环境友好，具有十分重要的意义。

8.2 生产发展概况

8.2.1 国内情况

1. 产品生产情况及主要特点

“十一五”以来，国家积极推动农业机械化科技创新，通过实施国家科技攻关计划、国家科技支撑计划、国家高技术研究发展计划（863 计划）、农业科技跨越计划、引进国际先进农业科学技术计划（948 计划）等，加大了对大型复式作业装备及其关键技术的研发支持力度，在技术集成和关键技术创新方面取得了巨大成就。针对我国旱作粮食生产成本高、能源消耗大、土壤压实严重等问题，结合地域和农艺特点，研究开发了为 58.8 ~ 147kW 拖拉机配套的系列多功能联合整地机，玉米（大豆）高速气力式精密播种机，高速、原茬小麦精少量免耕播种机以及多功能中耕除草复式作业机等大型复式作业装备，初步实现了耕整地、播种、中耕等作业环节的复式联合作业。此外，国内一些优势农机企业抓住国家大力发展农机装备制造业和实行农机购置补贴的有利时机，“立足大农业，发展大农机”，紧紧依靠自主创新或引进联合创新，不断推出新型高效的大型复式作业装备。这些产品日趋成熟，技术水平不断提高，在农业生产中发挥着重要作用。

（1）高效、多功能耕整地机械

1）高速双向调幅犁。1LF-535 型高速双向翻转式调幅犁（图 8-1）是一种重型高架犁，为翻转式松翻两用犁，通过深松和浅翻作业，实现耕地耕作。该机由悬挂牵引部分、机架部分、液压系统、犁柱、犁壁、调整机构、限深轮组成，犁壁采用螺旋曲面，翻垡

图 8-1 1LF-535 型高速双向翻转式调幅犁

和碎土性能好，灭茬覆盖效果佳。该犁进行梭式双向作业，无“开闭垄”，地头转弯空程少。配套动力为 70～130kW，作业速度可达到 10km/h，根据土壤比阻情况调整耕幅，可发挥拖拉机的最佳工作效率。

1LFGT-635 型调幅式液压翻转犁（图 8-2）具有高速调幅的特点，根据土壤比阻的大小，适当增大或减小耕幅，可充分发挥拖拉机的效率。特别是本机带有小副铧，耕翻前，小副铧先浅翻扣草，这样减小了主犁壁的阻力，使拖拉机更加省力、省油，提高了工作效率。

1LBT-735 型半悬挂调幅松翻两用犁（图 8-3）为松、翻两用犁，当安装上浅翻深松犁壁时，即可进行浅翻深松作业；当安装上平翻犁壁时，则可进行耕翻作业。该机犁柱可调，耕幅可调，半悬挂的方式能降低拖拉机载荷，从而充分发挥拖拉机的效率。该机设有安全装置，当犁遇到超过设计要求的载荷时，安全螺栓会自行剪断，能保护犁的整体结构不被破坏，实现过载保护。

图 8-2　1LFGT-635 型调幅式液压翻转犁

图 8-3　1LBT-735 型半悬挂调幅松翻两用犁

2）浅翻深松犁。1FSL-5 型浅翻深松犁（图 8-4）将深松与耕翻技术有机结合起来，一次作业能完成土壤的浅层翻耕和深层松动。深松能打破犁底层，加深耕作层，熟化土壤；浅翻可耕翻表层土壤，掩埋根茬，松碎土壤。表层熟土和底层生土不相互混拌，形成上虚下实、虚实相间的耕层结构，利于蓄水保墒，抗旱防涝。该机拆下浅翻铧即成为双翼杆齿式深松机，双翼铲深松部件，能提高土壤破碎率，剪断杂草根系。

图 8-4　1FSL-5 型浅翻深松犁

3）高速圆盘耙。国产圆盘耙向宽幅、高速方向发展，有的幅宽达到 10m 以上，作业速度一般为 6～12km/h。在偏角调整、牵引架升降、支撑轮起落以及耙架折叠等方面，广泛使用液压元件，显著提高了技术性能，宽幅作业、窄幅

运输。

1BJ-5.3 型中型对置耙（图 8-5）适用于荒地和黏重土壤耕后碎土，也可用于少耕整地、深松耙茬、以耙代耕等作业。刮土铲采用弹性材料，工作可靠、不堵塞。

1BZP-4.4 型偏置重耙（图 8-6）适用于熟地灭茬和翻后碎土，单片压力大，耙地深、节能，能适应黏土作业。

1BZ-8.8 型液压折叠重耙（图 8-7）用于耕松后碎土、耙茬和以耙代替浅耕碎土等少耕法作业，作业速度可达 9 ~ 10km/h。该机主牵引点为双弹簧调平机构，稳定性好，配套主机的轴承为外球面免维护大轴承，使用寿命长。

1BY-10 型 113 片液压折叠对置轻耙（图 8-8）适用于熟地耕后碎土、播前碎土、休闲地的灭草和未耕地的灭茬（小麦、大豆、玉米、高粱）等作业。耙幅宽、角度调节方便、工作效率高。运输时采用两翼液压折叠。耙后地表平整，不漏耕，能很好地满足旱作地区的农艺要求。

图 8-5　1BJ-5.3 型中型对置耙

图 8-6　1BZP-4.4 型偏置重耙

图 8-7　1BZ-8.8 型液压折叠重耙

图 8-8　1BY-10 型 113 片液压折叠对置轻耙

4）全方位深松机。深松是在不打乱原有土层结构的情况下，利用机械松动土壤，打破犁底层，加深耕作层，创造虚实并存的、有利于保墒、适合作物根系生长的土壤耕层构造。深松能提高雨水渗入速度和增加数量，减少地表径流，改善土壤通透性，为作物生长创造良好的水、肥、气、热环境。作为土壤耕作的一

项重要技术，深松越来越受到人们的重视。目前，国产的深松机多种多样，常见的有全方位深松机、振动式深松机等。

1SQ-250 型全方位深松机（图 8-9）采用梯形框架式深松部件，作业时切出梯形断面垡条，土条在运动中受到多方位的挤压、弯曲和拉伸而松碎，牵引阻力小，能耗低，具有松土范围大，碎土作用强，利于抗旱，在松土层底部形成“鼠道”等特点。该机适用于旱作土地打破犁底层，加深耕作层，并适用于治理黏重土质、盐碱、渍涝、干旱缺水区、缓坡地的水土流失等中低产田。

图 8-9　1SQ-250 型全方位深松机

1LS-750 型全方位深松机（图 8-10）可用于旱田的春、秋整地，一次进地可完成深松、碎土镇压联合作业，具有效率高、抗旱保墒、通用性好等特点。

1SZ-360 型振动式深松机（图 8-11）采用动力输出轴带动振动体，使机械性能得到充分发挥，牵引力可节省 20% ~30%。使用该机可使地表至地下 35 ~ 50cm 的土层全部膨松，非毛孔隙大大增加，促进作物根系生长，改善土壤透水性和通气性。

图 8-10　1LS-750 型全方位深松机

图 8-11　1SZ-360 型振动式深松机

5）联合整地机。随着耕作技术的飞速发展，由深松部件、灭茬部件、碎土部件、起垄部件以及合墒（镇压）部件组合而成的多功能联合整地机应用日益广泛。比较常见的组合形式有以下几种：

① 深松旋耕联合整地机（图 8-12）是深松与旋耕有机组合的整地机具，一次进地可对整个工作幅宽内的土壤进行深松、合墒碎土作业，作业后的土壤表层细碎平整，下层打破犁底层，有利于蓄水保墒，为作物生长创造了良好的种床环境。

② 1DSL-360 型松耙联合整地机（图 8-13）是深松与耙茬碎土相结合的整地机具，一次作业能完成土壤深松和灭茬碎土，可为作物生长创造良好的种床环境。

图 8-12　深松旋耕联合整地机

图 8-13　1DSL-360 型松耙联合整地机

③ 1SZL-770 型振动式深松机（图 8-14）由机架、深松铲、碎土辊、振动及阻尼部件等部分组成，一次进地可完成土壤深层深松、碎土和除草作业，使土壤达到播前整地状态。由于采用了高耐磨性深松铲和弹性阻尼部件，因此工作阻力小，深松碎土效果好，工作效率高。

④ 鹅掌式深松联合整地机（图 8-15）主要有两种形式，第一种是前鹅掌后置滚子耙，第二种是前鹅掌后置旋耕机。该机将深松和耙地（或旋耕）有机结合起来，属于节能型整地机具。旋耕深度一般为 12 ~ 15cm，对表层土壤的处理效果比重型耙耙一遍地要好，表层土壤细碎，有利于蓄水保墒和农作物吸收养分。

⑤ 灭茬旋耕（深松）起垄联合整地机（图 8-16、图 8-17）由机架、悬挂架、中间横梁、变速箱、传动箱、灭茬部件、旋耕部件、起垄及镇压部件组成。

图 8-14　1SZL-770 型振动式深松机

图 8-15　鹅掌式深松联合整地机

图 8-16　SGTN-280 型灭茬旋耕起垄联合整地机

图 8-17　1GSZ-490 型灭茬深松起垄联合整地机

机器一次进地能完成灭茬、旋耕（深松）、起垄及镇压联合作业，也可用于其中的多项或单项整地作业。

6）全面耕耘机。全面耕耘机（图 8-18、图 8-19）主要用于播种前的松土和碎土，还能起到消灭田间杂草的作用。适合在平原或丘陵地带使用，可在未耕软茬地以及已深松或深翻后的土地上进行精细整地，一次进地能完成除草、土壤浅松、碎土及镇压联合作业。根据使用目的不同，可选配不同结构的入土工作部件。常用的入土工作部件有以松土为主的双尖箭形铲和以碎土为主的双翼铲（又分为双翼平铲和双翼通用铲）两类。为了提高碎土效果和田间通过性能，铲柄一般采用弹簧钢制作，有的增设阻尼弹簧。

图 8-18　1DQ-630 型全面耕耘机

图 8-19　1DQ-740 型全面耕耘机

7）复式少耕整地机。复式少耕整地机（图 8-20、图 8-21）是实施保护性耕作技术的机型，解决了复式整地易拖堆堵塞、入土部件工作可靠性差等关键问题，在零件制造工艺、工作部件脱缚减阻、耐磨等方面有较大突破。机器一次能实现破茬碎土、耕层浅松、底层深松、整平碎土以及合墒镇压等多种功能，构造有利于满足作物根系对水、肥、气、热需求的“三层土壤结构”（图 8-22），即表层（0～10cm）土壤细碎，通透性好；

图 8-20　1DF-380 型复式少耕整地机

图 8-21　1DF-5760 型复式少耕整地机

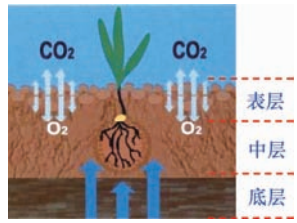


图 8-22　三层土壤结构

中层（10～25cm）土壤松动，利于根系发育和养分吸收；底层（25～35cm）土壤虚实相间，蓄水保墒能力增强。

8）宽幅液压折叠镇压器。宽幅液压折叠镇压器（图 8-23、图 8-24）主要用于小麦播种前、播后镇压，大豆青苗镇压，玉米播后镇压，工作时能自动仿形，解决了漏压问题，适应性强。可自动折叠，运输方便。

图 8-23　1YZ-12.5 型宽幅液压折叠镇压器

图 8-24　1YZQ-14 型宽幅液压折叠镇压器

9）中耕追肥起垄机。3ZQ-8 型中耕追肥起垄机（图 8-25）适用于北方旱田作物区，中耕期可实现中耕除草、施肥、培土和整地起垄作业，秋季可用于施肥起垄。中耕单体采用平行四杆仿形机构，装有垄沟切茬波纹盘。中耕除草部件两侧安装有护苗板，可有效地防止除草部件伤苗和土块覆盖压苗，实现高速作业。

1LZ-970B 型悬挂式垄作九铧犁（图 8-26）可一次完成深松、分层施肥、起垄、镇压联合作业，又可单独进行深松、起垄或中耕作业。起垄装置采用平行四杆仿形机构，不仅保证了作业过程中铧尖入土角不变，而且还使起垄铧能很好地适应地表高低不平的状况，使得垄高一致。

图 8-25　3ZQ-8 型中耕追肥起垄机

图 8-26　1LZ-970B 型悬挂式垄作九铧犁

10）垄向区田筑埒机。1DQ 型垄向区田筑埒机（图 8-27）是实施垄向区田技术的专用设备。采用机电控制技术，通过调节电子旋钮达到随耕地坡度控制埒距的目的。垄向区田是在垄作坡耕地中，沿垄方向每隔一定距离构筑一个土埒，在垄沟中形成一个个小浅穴，用以拦蓄降落的雨水（图 8-28）。垄向区田技术是

预防与治理相结合、抗旱与防涝相结合的水土保持措施，能有效缓解强降雨与弱渗入的矛盾，使高岗地不旱、低洼地不涝，保水、保土、保肥效果显著。

图 8-27　1DQ 型垄向区田筑埒机

图 8-28　垄向区田效果

11）林带开沟铺膜机。我国三北防护林及退耕还林地大部分设在农田中间或周边，在发挥巨大生态效益的同时，也形成了大量的林影地。以黑龙江省为例，目前三北防护林带约 58 万 km，构成农田防护林网格 38 万个，形成林影地超过 1 000 万亩。由于林影地粮食产量不足正常农田的 30%，很多地区林影地处于撂荒状态。LDP-80 型林带开沟铺膜机（图 8-29、图 8-30）是用于林影地改良的专用设备。通过在农田防护林一侧开沟并铺设塑料薄膜（宽度为 0.8m），截断林带向阳根系对作物的不良影响，实现林影地改良的目的。据测算，改良后的林影地粮食产量能达到正常农田产量的 90% 以上，增产效果十分显著。与挖截林沟的方法相比，该技术生产效率高、费用低、阻断效果好、有效期长，是改良林影地最为经济、有效、持久的方法。该机与 117kW 以上拖拉机配套使用，一次进地能完成开沟、断根、铺膜、覆土及镇压等多项作业，前进速度为 2 ~ 3km/h，是链式开沟机的 5 ~ 10 倍。配有薄膜触点式电子预警装置（图 8-31），其由预警器主体、传感器、充电式电源组成，能够在塑料薄膜用尽前提示驾驶员换装薄膜，提高了工作效率。

图 8-29　LDP-80 型林带开沟铺膜机

（2）精密播种机械　播种机分类方法很多。按播种方法不同可分为撒播机、条播机、穴播机和精密播种机，还可进一步分为普通穴播机、精密条播机、中耕作物精密播种机等。按播种的作物不同则可分为谷物播种机、玉米播种机、牧草

图 8-30　林带开沟铺膜机工作状态

图 8-31　触点式电子预警装置

播种机、蔬菜播种机等。按播种机排种方式不同又可分为机械式播种机和气力式播种机两大类，其中气力式播种机包括气吸式播种机、气吹式播种机和气流输送式播种机三种。经过多年的发展，我国播种机械技术已基本成熟，精量播种机逐渐占据市场主流。目前，小型精密播种机仍以机械式为主，大中型精量播种机则以气力式为发展方向。气力式精量播种机作业质量好，伤种率低，适于高速作业。此外，随着保护性耕作技术推广力度的不断加大，免耕播种机的产销量都将进一步增加。

1）气力式精量播种机。2BJQ-11 型高速气吸式精密播种机（图 8-32）既可播种玉米，又可播种大豆（单条或双条），还可播种高粱、甜菜、向日葵、白瓜子、花生、小豆等多种作物。该机技术性能先进，通用性好，速度可达 10km/h。通过更换工作部件和改变安装方式，既可耕整后播种，又可在软茬原垄上直接播种；既可垄作播种又可平作播种；既可单条精密点播又可双条精量播种。气吸式排种器（图 8-33）实现了用单盘、单种室完成单双条通用播种。另外，适应种植技术的发展（如大豆密植），精量播种机新产品代表性机型如图 8-34 和图8-35 所示。

图 8-32　2BJQ-11 型高速气吸式精密播种机

图 8-33　气吸式排种器

图 8-34　气吹式精量播种机

图 8-35　大豆气吸式双(单)苗带精量播种机

2）小麦原茬免耕播种机。目前，国内大型谷物播种机多采用槽轮排种器（图 8-36）。该类槽轮是密齿型，可减少带动层，提高排种均匀性；改进后的阻塞套结构既可提高排种均匀性，又降低了种子破碎率，保证条播作物精少量播种的要求，在我国内蒙古、新疆等地区广泛应用。

气流输送式小麦精少量播种机（图 8-37）的特点是整机质量减轻、降低生产成本，气流把种子运输到开沟器开出的种沟内，依靠气压可有效防止导种管内种子堵塞。

图 8-36　机械式排种器机型

图 8-37　气流输送式小麦精少量播种机

3）变量施肥播种机。国内在 20 世纪 90 年代后期开始了对精准农业的关注，近年来变量播种施肥技术在我国北方地区引起了重视，许多学者进行了相关研究并取得了一定的成就。黑龙江八一农垦大学引进了美国的 Flexi-coil 变量施肥播

种机，在黑龙江友谊农场分别进行了大豆和小麦的变量施肥播种应用试验。试验表明该播种机能够按照处方图进行精确的变量控制，并且播种机在作业过程中所采集到的相关参数都记录在文件中，方便查看和分析。但由于该机作业幅度比较宽且工作时要求土地平整，因此在试验时发现各行播种深度有一定的差异，从而影响了大豆出苗的一致性。

结合相关技术的研究，一些科研工作者进行了产品的开发。研发了基于电容原理的小麦排种流量检测装置以及基于小麦种肥箱压力传感检测的种肥施用反馈控制系统（图 8-38），提高了小麦种肥的施用精度，大幅提升了小麦免耕施肥播种机的智能化装备水平。每个种箱和肥箱由四个满量程为 100kg 的 BK-2F 型力传感器支撑（图 8-38a），单片机系统通过 AD 采集模块实时获取种箱和肥箱的力传感器信号，得到种箱和肥箱的物料质量，由 RS232 串口传输给上位机。安装于排种（肥）管上的电容式排种量传感器将测量的瞬时排种（肥）量通过 RS485 总线传输给上位机（图 8-38b）。安装于地轮上的霍尔传感器用于测量机具的前进速度（图 8-38c），并由单片机系统传输给上位机。上位机将力传感器

图 8-38　小麦变量播种机作业检测控制系统

获得的物料质量变化与电容传感器获得的瞬时排种量相结合，得到修正后的瞬时排种（肥）量。同时上位机根据测得的排种（肥）量和机具前进速度以及作业处方图，计算得到控制量输出，送给伺服电动机控制器，从而实现伺服电动机的速度控制，进而改变排种轴和排肥轴的转速，达到播种施肥变量控制的目的（图8-38d）。

研发了玉米变量施肥播种控制系统（图 8-39），根据作业处方图、GPS 信息及机具行进速度，采用压力传感检测技术实时监控种子和肥料的下料量，实现排种电动机和排肥电动机转速的反馈控制，从而达到自动调节播种量和施肥量的目的。

1）排种变量控制系统用于株距调节，采用伺服电动机作为执行机构（图 8-39a），并选配 1:50 速比的减速机，用于驱动排种轴；上位计算机采集种箱的

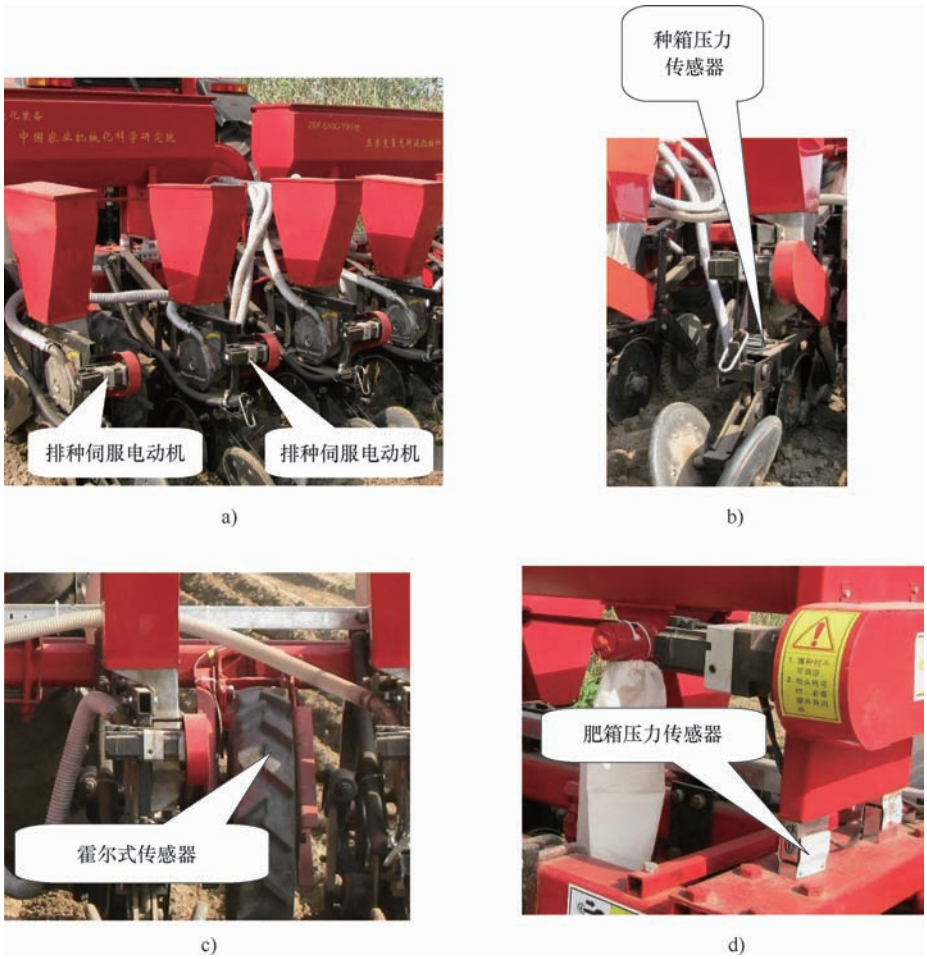


图 8-39　玉米变量播种机作业检测控制系统

质量信号（图 8-39b）和机具的前进速度信号（图 8-39c），根据作业处方图和 GPS 信息进行排种量决策，从而得到控制量输出，送给伺服电动机驱动器，调节排种轴转速，从而改变播种间距。

2）排肥变量控制系统包括排肥器和施肥变量控制系统。排肥器采用外槽轮的结构形式，调整方便。施肥变量控制系统采用伺服电动机作为执行机构，并选配 1:40 速比的减速机，用于驱动排肥轴。上位计算机采集肥箱质量信号（图 8-39d）和机具前进速度信号，根据施肥作业处方图和 GPS 信息进行施肥量决策，从而得到施肥控制量输出，送给施肥伺服电动机驱动器，调节排肥轴的转速，从而实现变量施肥作业。

3）智能监控播种机。我国对作业质量监控的研究较多，取得了一些成果。

① 研制的 2BBJ-1 型播种机防漏播报警器采用红外线对管作为监视传感器，在种子有规律地通过排种管时，遮断红外线光束，使光电转换装置输出电脉冲信号，LED 有规律地闪烁，显示屏工作并累计播种量。当播种机某行或数行发生排种口卡种时，或者当开沟器某行或数行由于工况等原因发生堵塞时，脉冲信号将被输送到各播种行的故障信号指示灯，发出光、声信号，显示故障性质及部位。

② 研制的 2ND-2 型电子监视精密播种机在播种作业时，监视器可对排种轮不转、输种管或导种管堵塞、种箱无种等情况进行即时监视，若有异常现象，会及时发出声、光报警信号。该产品功能齐全，一机多用，既能进行深施化肥播种覆土和镇压等联合作业，又能进行中耕、起垄、施肥和垄沟深松等单项田间作业。

③ 研制出基于单片机的排种均匀度检测仪器，该仪器以 8031 为中央处理器，外形轻巧且成本较低，除能在显示设备上显示检测数据外，还能打印计算结果。利用压电式声电传感器将下落籽粒与机械碰撞产生的声波转换为电脉冲，并采用放大、整形、限幅电路，籽粒下落时间间隔采用了计数/计时器进行计时，并通过中断方式实现，该项目仅为实验室研究。目前，国内带有监控系统的播种机大多处于研究和试验阶段。

2. 产业结构情况

我国现有农业机械制造规模以上企业 2 000 多家，企业数量多，经营规模小，总体上未能形成一批市场占有率高、国际竞争力强的大型企业和企业集团。现有农机产品 3 500 多种，仅为发达国家的一半，主要集中在中小型低端产品。国产的大型复式作业机具在技术性能、可靠性，特别是智能化及系列化程度等方

面较发达国家有较大差距。

“十一五”期间，我国通过实施一批国家科技支撑计划项目及“863”项目等，研制成功了一批大型多功能复式作业装备，在精准农业技术、气力式精密播种技术、种肥变量分施技术、入土部件脱附减阻及避障技术等方面取得了重大突破，部分产品和技术达到国际先进水平。目前，这些技术产品处于成果转化和示范应用阶段，尚未形成大规模生产能力。

未来几年，随着国外大型复式作业机具的不断涌入，市场对该类产品的功能、性能、质量和关键零部件的要求不断提高，产品技术开发和产业化所需的技术和资金门槛也将越来越高。国内农机企业纵向和横向组合的趋势将更加明显，产业集中度将越来越高。为此，科学合理地推进农机工业产业结构调整和资源重组，形成一批具有较强竞争力的大型企业集团和产业集群，全面提升我国大型复式作业装备制造水平和国际竞争力势在必行。

3. 市场发展情况与需求、趋势预测

低碳经济时代的来临，对环境保护和资源节约提出了更高的要求。我国积极提倡构建节约型社会，努力推进农业产业结构调整，促进农业由数量型向质量效益型转变。我国农业机械化已经进入加快发展、改善结构、提升质量、拓宽领域的重要阶段。随着国家各种惠农支农政策的陆续出台和农机购置补贴力度的逐年加大，国内农机专业合作社的数量、规模及从业人数不断增长，农村土地合理流转和农业产业化适度规模经营已成大势所趋。以智能化、精准化、多功能、高效率、资源节约和环境友好为突出特点的大型复式作业机具必将成为我国未来农机发展的主流，智能导航技术、自动测控技术、新材料及新工艺等将成为今后农机技术的发展重点。

按照国家 2015 年主要农作物耕种收综合机械化水平达到 55% 以上、农机总动力达到 10 亿 kW 的发展目标，预计将新增大中型拖拉机 160 万台，平均每年新增 30 多万台，大中型拖拉机与农具配套比有望接近 1:3。因此，大力推进大型复式作业机具科技创新和产业发展，用国产先进农机武装我国农业，具有广阔的市场前景。

8.2.2 国外情况

1. 产品生产情况及主要特点

近几年来，一些发达国家不断将高、精、尖技术应用到耕作机械上，大型复

式作业机具正向着智能化、信息化和机电液一体化发展。为适应精准农业的要求，国外大型拖拉机广泛应用全球定位系统、卫星遥感等多项技术，精确地指导农场主进行耕整地、播种、施肥及中耕除草等作业，从而得到最经济实惠的投入产出效果。为实现保护性耕作和农业可持续发展，许多国外农机企业都开发了复式少耕整地机、免耕播种机等系列化机型，这些机型具有宽幅高效、智能精准、安全可靠、节能环保等特点。

（1）高效、多功能耕整地机械

1）高速双向调幅犁。高速双向翻转式调幅犁（图 8-40）是欧洲应用最广泛的耕作机具之一。其中悬挂式犁装有运输尾轮，常与合墒器配套使用（图8-41）。调幅犁通过一个四边形机构调整耕宽（图8-42），在调整第一犁铧侧偏位置后，角度的调整自动完成。

图 8-40　高速双向翻转式调幅犁

［法国库恩（Kuhn）公司］

图 8-41　悬挂双向翻转式调幅犁

［挪威格兰（Kverneland）公司］

图 8-42　液压调幅机构

水平换向双向犁具有换向时对拖拉机的冲击小、质量轻（可降低 40% 以上）和生产成本低等优点，近年来得到较快发展，有悬挂式机型（图 8-43）和半悬挂式机型（图 8-44）。

图 8-43　悬挂水平换向双向犁

［美国约翰迪尔公司］

图 8-44　半悬挂水平换向双向犁

［意大利艾默罗（ERMORO）公司］

随着高速耕作技术的发展，对铧式犁的安全性要求越来越高。因为速度提高后，冲击载荷加大而使犁产生事故性过载的概率显著增加。当犁壁以大约 9km/h 的耕速和障碍物相撞时，铧尖在最初 0.05s 时间内承受的动载荷将超过 2 000kg，而作用在传动构件上的动载荷可能高达此值的数倍。为防止超负荷损坏零部件，安全保护装置成为高速犁上必不可少的部件。目前，国外常见的安全保护装置有三种：

① 安全螺栓保护装置（图 8-45）。犁尖能承受 3 000kg 的冲击载荷，螺栓可承受超过 4 500kg 的载荷。工作时由于螺栓受拉力而不受剪切（图 8-46），因此即使螺栓被拉断多次，犁壁也不会变形。

② 自动复位钢板弹簧保护装置（图 8-47）使用于石块较多的地况。

③ 蓄能器式安全保护装置（图 8-48）。工作前利用拖拉机液压系统将蓄能罐中的气体充到一定压力，然后切断油路，安全器成为封闭系统，调整充气压力

图 8-45　安全螺栓保护装置

图 8-46　拉断的安全螺栓

图 8-47　自动复位钢板弹簧保护装置

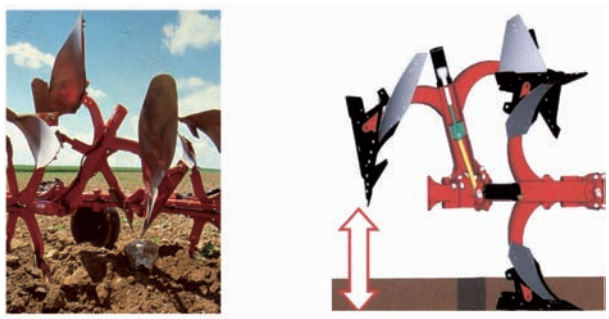


图 8-48　蓄能器式安全保护装置

a）工作状态　b）工作原理

可改变动作力的大小。遇到障碍时，犁壁向后抬起，蓄能罐中的气体被压缩；越过障碍后，利用蓄能罐中的气体势能自动回位。这种装置工作时惯性较小，动作比较柔和，越过障碍后能自动回位，实现连续耕作。

为满足不同的土壤条件和耕作要求，国外研制了多种类型的工作部件，如法国库恩公司研制的铧式犁有五种犁壁（图 8-49）：①N 型犁壁，工作深度为 15～30cm，多用途，能降低拖拉机牵引力；②HC 型犁壁，工作深度为 20～30cm，适于在黏重型土壤等恶劣条件下工作；③L 型犁壁，工作深度为 20～35cm，多用途，碎土效果好，对拖拉机宽轮胎有好处；④VP 型犁壁，工作深度为 20～35cm，板条结构，特别适用于黏土，碎土效果好；⑤YL（塑料）型犁壁，工作深度为 20～30cm，适用于黏性和有腐蚀性的土壤。其中金属犁壁采用三层金属结构（图 8-50），外表耐磨层厚度为 3.3mm，提高了可靠性。此外，犁铧上的可换铧尖也有多种类型（图 8-51），安装在主犁壁上的小前犁也有多种类型（图 8-52）。

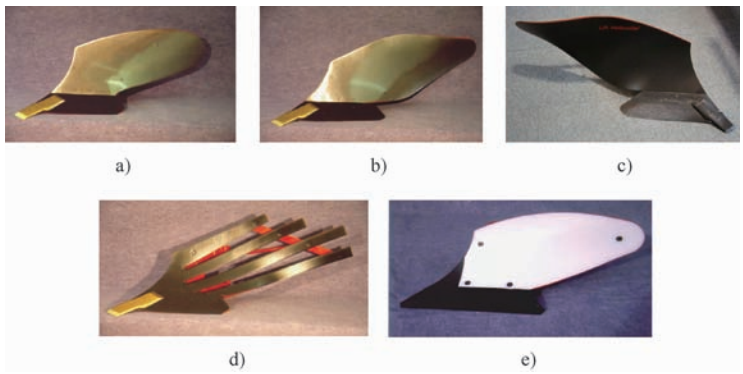


图 8-49　多种类型的犁壁

a）N 型犁壁　b）HC 型犁壁　c）L 型犁壁　d）VP 型犁壁　e）YL 型犁壁

图 8-50　三层金属犁壁

图 8-51　多种类型的铧尖

发达国家生产的铧式犁，犁架采用一体化形式，且经过热处理，强度高，柔韧性好。犁铲由型钢锻造而成（图 8-53），提高了表面耐磨性和对土壤的穿透性。

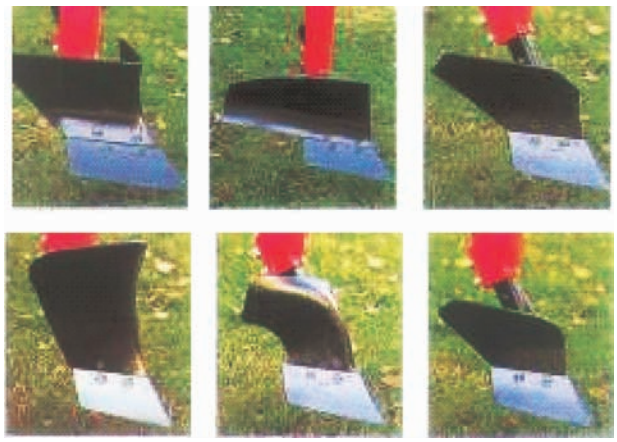


图 8-52　多种类型的小前犁

2）圆盘耙。发达国家圆盘耙向多品种、系列化、宽幅、液压控制方向发展，在提高生产率、改善性能、延长使用寿命等方面不断改进。主要特点：

图 8-53　犁铲制造过程

① 多种形式的工作部件和附件。圆盘耙片的曲面凹度、直径有多种规格，刃口也有各种形状。一些产品上还装有松土铲、弹齿、碎土辊等工作部件，提高了作业质量。

② 宽幅作业窄幅运输。国外圆盘耙向宽幅发展，有的产品幅宽达到 12m 以上。为解决道路运输问题，趋向于发展宽幅折叠耙和采用侧向运输方式。有些产品则将耙组与机架铰连，在运输时将耙组侧向旋转，以减小宽度（图 8-54、图 8-55）。

图 8-54　圆盘耙纵向运输
［法国舒爱泽（RAZOL）公司］

图 8-55　液压折翼偏置圆盘耙
［(法国舒爱泽（RAZOL）公司)］

③ 采用新型轴承提高作业速度。国外圆盘耙普遍采用自行润滑的滚动轴承，有的产品采用双列“超级”密封轴承并在轴承底部装有防护板（图 8-56），提高了密封性和使用寿命。有的圆盘耙产品装有浮动挠性轴承支架，保护耙片在遇到障碍时不损坏。

图 8-56　双列密封轴承

④ 广泛采用液压元件。如偏角调整（图 8-57）、牵引架升降、轮子起落以及耙架的折叠（图 8-58）等采用液压缸等元件，降低了劳动强度，提高了生产率。

图 8-57　液压缸调整耙偏角

图 8-58　耙架折叠对置圆盘耙

［法国舒爱泽（RAZOL 公司）］

3）驱动型整地机具。驱动型整地机具向大型、深耕及多功能方向发展。与 88～132kW 拖拉机配套的旋耕机，作业幅宽达到 3m，耕深 28cm；与 117～132kW 拖拉机配套的旋耕机，作业幅宽达到 4m，耕深 28cm；与 132～176kW 拖拉机配套的动力耙，作业幅宽达到 6m，耕深达到 30cm。可以通过调整变速手柄或用更换齿轮箱齿轮的方法改变刀辊转速，有的产品多达 12 个转速。可适应拖拉机动力输出轴（PTO）540r/min 和 1 000r/min 两种转速。有些产品的齿轮箱有后动力输出轴，为联合作业机具传递动力；有些产品装有横向位移装置，以便采用方轴传动时，可调整旋耕机与拖拉机的横向位置。果园旋耕机上装有避让机构，作业时遇到树干等障碍时，机具可自动横向移位。普遍装有安全保护装置，大型机具多采用带安全装置的广角万向节传动轴和过载保护装置。为适应不同的作业条件和农艺要求，驱动型整地机械的工作部件有多种类型（图 8-59、图 8-60、图 8-61），运动方式分为卧式（图 8-59、图 8-60）和立式（图 8-61）两种。立式动力耙的碎土辊有多种类型，常见的有笼式碎土辊、指式碎土辊、尺式碎土辊、钉齿式碎土辊和螺旋式碎土辊等（图 8-62）。

4）少耕深松机具。国外深松机绝大多数采用杆齿式松土铲部件。杆齿上部分（铲柄）有不同的形式，如垂直地面的直铲柄，与地面成一定夹角的斜铲柄

图 8-59　弯刀式旋耕机［意大利马斯奇奥（Maschio）公司］

图 8-60　扳齿式旋耕机［意大利马斯奇奥（Maschio）公司］

图 8-61　立式动力耙［（意大利马斯奇奥（Maschio）公司］

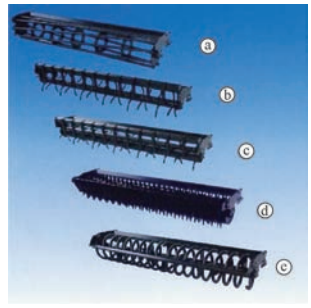


图 8-62　碎土辊类型

（小斜度、大斜度）、弧形铲柄等。松土铲也有不同的形式，近几年出现了侧弯式（又称为弯腿式）新型松土铲，铲的下部分侧向弯曲，有的与犁壁形状类似，这种松土铲作业时对上层土壤有较强的膨松作用，并可降低牵引阻力。国外松土铲多装有可更换的双尖、单尖铲尖，铲尖也分为不同类型，以适应不同土壤条件。有的公司的产品有 6 种不同类型的铲尖（图 8-63）。美国约翰迪尔公司和凯斯纽荷兰公司联合耕作机上的 TIGER 型松土铲（图 8-64）具有翼状板，具有使土壤抬起、翻转和移位的功能。此外，一些公司的产品在松土部件上安装了提高使用寿命的附件，如在松土铲的刃口上加三角形或齿带形护板（图 8-65、图 8-66）。

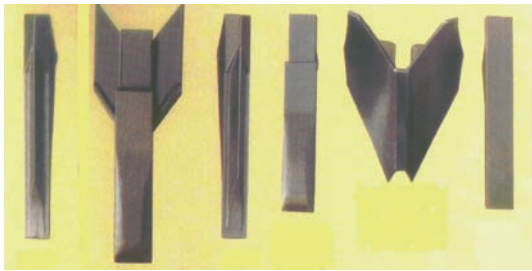


图 8-63　各种类型的松土铲尖

图 8-64　TIGER 型松土铲

图 8-65　侧弯式（弯腿式）松土铲

图 8-66　带覆茬器、鼠道成形器的深松机

国外深松机的结构和功能不断完善。工作部件的间隔、主梁与前进方向的夹角及松土铲与地面间的倾角等可调节。在松土铲前安装带缺口的圆盘刀或覆茬器，增强对残茬和表土的切割能力。在松土铲上部两侧安装翼刀，增强对表土的疏松作用。在铲后安装鼠道成形器，在土壤下层形成管洞，利于蓄水保墒、排水，具有改良土壤的功能。采用多种形式的保护装置（图 8-67、图 8-68），每个松土铲上单独装有的保护装置有多种形式，如剪切安全销、板簧、螺旋弹簧及液压缸（蓄能器）等，这些装置既起到了保护作用，也减少了因故障造成的停歇时间。

图 8-67　板簧式保护装置

图 8-68　液压缸（蓄能器）保护装置

应用振动原理研制降低能耗和牵引阻力的振动式深松机，如德国公司研制的深松机，由拖拉机动力输出轴驱动偏心振子使工作部件横向和上下振动。振动式深松机的振动频率通常为 540 次/min，可降低牵引阻力 20% ~40%。日本公司研制了用于大田、菜田、烟草田的振动式深松机具，有些产品在深松部件上装有鼠道成形器，深松的同时开出管洞进行土壤改良。

5）复式耕耘机。复式耕耘机是实施保护性耕作的重要机具。为大功率拖拉机配套的约翰迪尔 2310 型复式耕耘机（图 8-69），一次作业能完成地面割茬处

理、土肥混拌、药土混拌、苗床平整、地面疏松、土壤细碎等多项作业，为种、肥与土壤充分接触创造良好的条件。该机采用浮动式牵引梁，仿形效果好，能保持前后作业深度一致。该机作业深度一般为 70 ~ 127mm，作业速度为 8 ~ 16 km/h。设有精准深度控制系统（图 8-70），在拖拉机驾驶室内能精确地显示及控制预设作业深度，最大限度地发挥拖拉机功率效率，降低油耗。后挂碎土耙可选配 3 排弹齿耙和碎土辊，可处理 60% 的残茬覆盖；也可选配 5 排钉齿耙，碎土、平地及种床压实效果好。整机可采用 3 段折叠式和 5 段折叠式两种折叠方式，其中 3 段折叠式的工作幅宽为 5.7 ~ 10.3m（共 6 种），运输宽度为 3.8m 和 4.5m；5 段折叠式的幅宽为 12.1m 和 13.9m，运输宽度为 4.8m。

图 8-69　约翰迪尔 2310 型复式耕耘机

图 8-70　精准深度控制系统

浅松齿杆（图 8-71）、深松齿杆（图 8-72）均由高强度弹簧钢制成，与机架之间均采用弹性连接，工作时能发挥自动避障和弹性振动减阻的功效。波纹圆盘（图 8-73）切茬碎土能力强，耐磨性好。

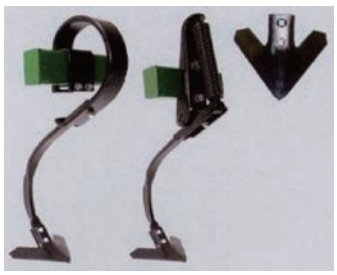


图 8-71　浅松齿杆

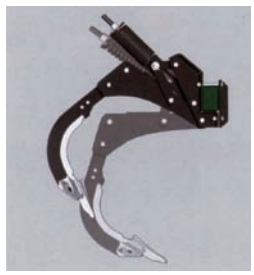


图 8-72　深松齿杆

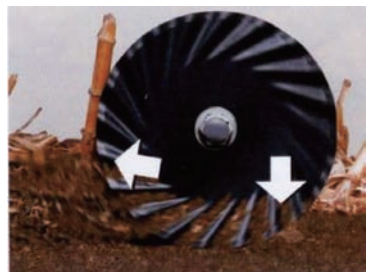


图 8-73　波纹圆盘

6）复式少耕联合整地机。目前，国外复式少耕联合整地机的形式多种多样，主要由深（浅）松部件、圆盘耙片、弹齿、钉齿、鼠笼式碎土镇压辊等组合而成。

约翰迪尔512型复式联合整地机（图8-74）适用于初次耕作作业，采用耙片-深松铲-耙片的设计结构，可以很好地切碎残茬并与土壤混合，粉碎板结层，平整土壤表面，为二次耕作做好准备。该机配有两列圆盘耙，处理地表秸秆和平整地表，深达15.2cm；深松齿能打破板结层，深达41cm，为作物的根系生长提供充足的空间。前排圆盘耙成18°角，与深浅凹耙片组合，整机对前进速度的敏感性变小，适合高速作业。后列耙组角度可有两种选择，16°适用于大秸秆覆盖量，14°用于土壤比阻和秸秆覆盖量较小的条件。前后两列耙片之间的间距为279mm，耙深可达15.2cm。高强度组合式刚性及自动调节的刮泥板防止堵塞效果好。可选配触摸式深度调节装置，作业时驾驶员可在座椅上进行深度调节。该机作业效率高，适宜速度为8～10km/h。

图8-74　512型复式联合整地机（美国约翰迪尔公司）

德国阿玛松（AMAZONE）5001型复式联合整地机（图8-75）具有如下特点：①杆齿呈斜“1”字形排列，采用3D杆齿技术，即杆齿可以向3个方向移动，使整机的作业通过性得以保证；②耙片独立仿形，采用免维护轴承，镇压轮

图8-75　5001型复式联合整地机（德国阿玛松公司）

可以用作运输轮；③机架运输和作业时可以利用液压元件折叠成需要的宽度。

挪威格兰（KVERNELAND）公司 CTS 复式联合整地机（图 8-76），一次能完成耕耘、深松、合墒多种作业，其特点在于能最大限度地打破犁地层，对土壤起到良好的保护作用，不仅能改善土壤耕种条件，而且能将对土壤结构的破坏程度降至最低限度。该机前排采用松土齿，可避免后排深松齿松动土壤时带出大土块。松土齿能最小限度地扰动表土，使土壤结构仍然处于最佳状态。采用先耕耘后深松的方式，可极大地减少对土壤结构的破坏。这种耕作方式更加科学、有效，不仅作业效果好，而且省油、环保。最后进行深松，可以彻底打破犁地层，从而保护土壤的墒情，利于保存水分，利于作物根部生长。压实辊合墒器可梳理出平整、坚实的种床。

图 8-76　CTS 复式联合整地机（挪威格兰公司）

（2）播种机械

1）智能导航播种机。美国约翰迪尔公司 1770NT 型播种机安装有 Seedstar2 监控系统，能轻松地完成播种工作。Seedstar2 监控系统可以方便地监测到重要的播种数据，如种子密度和行间距、行间重叠度、平均密度、真空度以及排肥压力。Seedstar2 安装便捷，用户可以很容易地在 GSR 第二代绿星系统监视器上读到一些重要的播种信息。另外，Seedstar2 监控系统完全可以和自动驾驶系统、农具智能导航系统以及作业图兼容，从而为播种设备带来无与伦比的精确性和高生产率，省去了设备调节时间，根据种子大小调节最佳的播种间距，从而达到每块土地的最佳产量。

美国凯斯纽荷兰公司 Flexi-coil 变量气力播种机系统（差分全球卫星定位）由动力机械、气力种箱和播种施肥机具组成。当播种机前进时，根据处方（凯斯 GIS 软件制出的变量播种、施肥处方）所确定的位置和种肥量的信息，程序

控制器控制播种施肥机的三个电控变速液压马达，以改变排种器、排肥器的转速，实现变量播种、施肥。采用该机具可使种、肥精确到位，种子生长良好，适时有效地利用肥料，节约种子和化肥，提高作物产量。

德国阿玛松（AMAZONE）公司生产的精确变量播种机是在其气力式播种机的基础上研制的，排种轮由电子-液压马达驱动，可根据机载计算机发出的指令进行无级调速。机具在 DGPS 装置引导下进行田间作业，使其播种量满足处方图的要求。法国夏托蒂厄里布朗科特公司的电子控制播种机，用计算机控制电动机调整转速、播种株距和行距，并能准确控制行驶路线、播种面积和播种量。

2）电子监控播种机。国外播种机械上广泛应用电子监控系统（图 8-77、图 8-78），该系统主要由监控显示器、监控电路、种子流光电传感器、测距传感器、转换器与驱动电动机、播种机提升传感器及种子层面高度传感器等几部分组成。监控系统把整个播种情况（如重播、漏播、株距、播种面积、播种速度、播种量和行数等）通过显示仪显示出来，实现了播种机的智能化监测。当播种机不能够正常播种时，进行双向报警，及时通知驾驶员，最大限度地避免了漏种现象的发生，极大地提高了播种机的工作质量。

图 8-77　监控显示器

图 8-78　种子流光电传感器

3）变量施肥播种机。美国在变量播种领域最具代表性的是凯斯纽荷兰公司生产研制的 Flexi-coil 变量施肥播种机（图 8-79），其由 ST820 型空气输送式变

量施肥播种机和 STX375 型橡胶履带式拖拉机组成。该播种机的变量控制系统有手动和处方图自动控制两种形式，手动控制可在预先设置肥量的基础上随时增减播种量，增减幅度可以进行预先设定。处方图自动控制需要将 PCMCIA 数据卡插入变量施肥播种机的控制监视器中，在变量控制监视器上选择地块处方文件和种、肥箱所对应的控制播种、施肥的处方图层，在播种前可以对种子、肥料排量进行校准，并且可完成多种作物的变量播种、施肥，如玉米、大豆、小麦及水稻等。

美国约翰迪尔公司也成功研制了 JDI/1910 系列气力式免耕变量播种机，该系列变量播种机采用全电控变量播种，排种系统使用带微调环的排种辊，可以精确地达到设定播种量。该机控制系统技术先进、性能可靠，精度已达到厘米级，有效地减少了重播、漏播。图 8-80 所示为无级变速机构，可实现变量播种、施肥。

另外，先进机型多采用电控或电液控来调整播种量，如图 8-79、图 8-80 和图 8-81 所示，通过控制电动驱动排种轮以及电子控制排种轮的旋转速度，调整播种量。

图 8-79　Flexi-coil 变量施肥播种机（美国凯斯纽荷兰公司）

图 8-80　电动机控制的无级变速齿轮箱

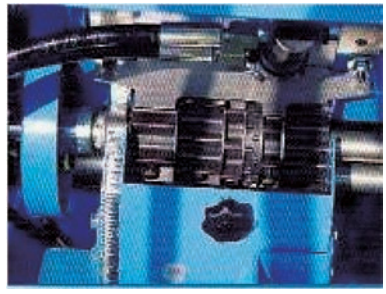


图 8-81　电动驱动/电子控制排种轮

4）气力式播种机。发达国家普遍推广采用气力播种技术实现精量播种，且普遍向大型化、集约化技术发展。中耕作物一般采用气吸式排种器，种子在负压的作用下被吸附在排种盘上并排列均匀，当转到排种口时，种子泄压落下，实现精密播种（图 8-82）。

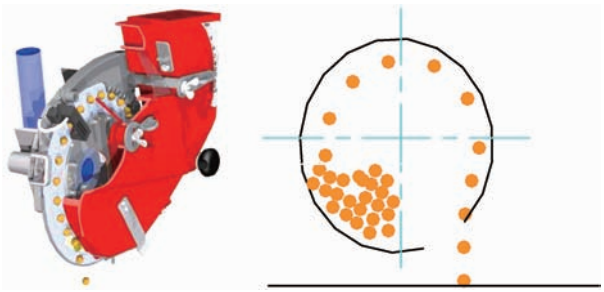


图 8-82　气吸式排种器工作原理

德国阿玛松公司生产的EDX9000-T 型气吸式精量播种机（图 8-83）具有如下特点：①播种计量方式由地轮传动和计量改为电子马达传动、传感器计量，取消了链传动，播种深度控制方式由传统的机械设定改为感应器设定，播种作业速度达到 15km/h 以上；②种、肥箱集中设计，由分散的单个排种盘改成一个集中的排种滚筒；③采用高精度种肥实时监测技术，从电路功能上实现排肥、排种报警逻辑和排种量电子计量显示功能；④装配车载计算机控制面板，能实现实时变量播种；⑤宽幅播种机机架采用立体折叠技术。

图 8-83　EDX9000-T 型气吸式精量播种机（德国阿玛松公司）

小粒条播作物多采用气吹式播种，利用气流使种子在管道中自然排列均匀（图 8-84）。美国约翰迪尔公司的新型 1830 型锄式气吹播种机（图 8-85），采用挠性机架设计，有利于达到均匀的播种深度，形成平滑的田地表面。适用于小麦、大豆和

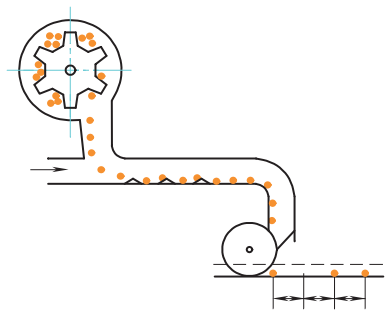


图 8-84　气吹式排种器工作原理

图 8-85　新型 1830 型锄式气吹播种机（美国约翰迪尔公司）

油菜的种植，可实现精准播种，还能满足侧深施肥要求。

大型条播作物播种机多采用集中式种子箱，采用气流输送种、肥的方式进行播种（图 8-86）。该类排种、肥系统，种子适应性强，生产效率高，便于大型宽幅机具的机架折叠设计，解决了道路运输问题。另一类复式作业精量播种机带有整地部件，可一次完成整地、播种、覆土、镇压等联合作业（图 8-87），为解决大型机具的道路运输问题，多采用折叠结构（图 8-88）或侧牵引式（图8-89）。

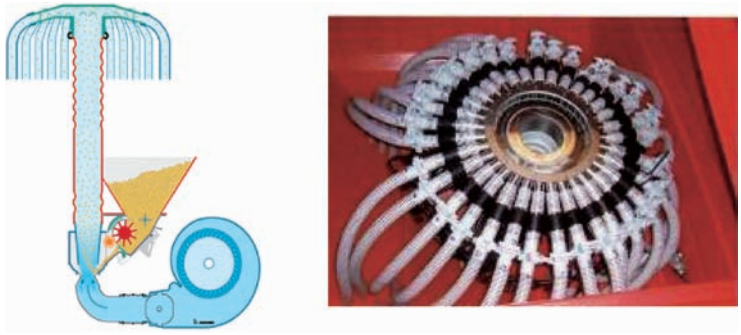


图 8-86　气流输送播种系统工作原理

2. 产业结构情况

目前国外生产大型复式作业机具的农机企业主要有：年销售收入在百亿美元级的约翰迪尔公司和凯斯纽荷兰公司，年销售收入在几十亿美元级的爱科公司，年销售收入在几亿美元级的赛迈道依茨-法尔公司、库恩公司和格兰公司等。由于中国农机市场对产品质量与价格的要求有不同层次，所以除上述企业外，日本、韩国、印度、巴西等国的耕作机械也已经进入了中国市场，使国内农机企业的目标市场构成多层面的竞争。

图 8-87　复式作业机型

图 8-88　折叠结构道路运输机型

图 8-89　侧牵引式道路运输机型

美国约翰迪尔公司成立于1837年，目前产品主要是农业机械（拖拉机、联合收割机、农机具）、商用与市政机械、建筑与林业机械、动力系统（柴油机与传动系部件等）。

凯斯纽荷兰公司于1999年11月由欧洲的纽荷兰公司与美国的凯斯公司合并而成，公司的产品主要是农业机械（拖拉机、联合收割机、柴油机、农机具）、工程机械及零部件等。

总部在美国的爱科公司成立于1990年，1993—1994年收购了英国的麦赛福格森公司，1997年收购了德国的芬特公司，2002年收购了美国卡特彼勒公司的农用橡胶履带拖拉机业务，2003年又收购了芬兰的维创公司。爱科公司的产品包括拖拉机、联合收割机、柴油机、牧草机械、农机具及零部件等。

赛迈道依茨-法尔集团以意大利的赛迈公司和德国的道依茨-法尔公司为主体，于1995年成立。赛迈道依茨-法尔公司的产品包括拖拉机、联合收割机、农机具、配件等。

法国的库恩公司于1828年由约瑟夫·库恩（Joseph Kuhn）先生创立，从1946年起隶属于总部在瑞士的布赫（Bucher Guyer）公司。1987年兼并了华德（Huard）公司，扩充了耕整地与播种机具。库恩公司在兼并各农机具生产商后，成为能生产耕整地机具、播种机具、牧草机械与植保机械的大型综合性农机具制造商。

挪威的格兰公司于1879年由加百利·格兰（Gabriel Kvemeland）先生创立。格兰公司在20世纪20年代后期开始生产机引犁，1955年收购了挪威的格鲁巴斯·马斯金法布瑞克（Globus Maskinfabrikk），1973年收购了丹麦的布劳沃布瑞肯·弗劳德（Plovabrikken Fraugde），1993年收购了丹麦的马斯金法布瑞肯·塔姆普（Maskinfabriken Taamp），1995年收购了意大利的麦晨纳·阿格菲寇·马莱迪（Macchine Agficole Maletti），1998年收购了荷兰著名的格陵兰（Greenland）集团。格兰公司在兼并各农机具生产商后，也成为能生产耕整地机具、播种机具、牧草机械与植保机械的大型综合性农机具制造商。

3. 市场发展情况与需求、趋势预测

随着21世纪人口数量的增长和人民生活水平的不断提高，为保证充足的粮食和多样化、高品质的农产品供给，迫切需要提高农业生产水平，这对农业及农业现代化提出了新的挑战，也对农业机械特别是大型复式作业机具提出了更高的要求。市场的全球化是我国农机工业发展的重要目标，世界各国农业机械发展的

不平衡性，为我国大型复式作业机具走向国际化提供了机遇。从近年出口发展态势分析，亚洲、北美和欧洲将是主要的出口市场，非洲、拉丁美洲和大洋洲的出口也会逐步增加。

8.3 技术发展现状与趋势

8.3.1 国内技术发展现状与趋势

多年来，国内农机行业及企业把主要精力放在中小型农机具产品技术上，对提高大型复式作业机具重视不足。中小型农机技术虽然为大型产品奠定了基础，但对技术升级、产品升档缺乏支撑作用。“十一五”以来，依托国家科技支撑计划及“863”计划等重大项目，完成了大功率拖拉机配套的多功能联合整地，玉米、大豆、小麦高速精密播种，和宽幅高效植保技术与装备研究开发，实现多功能复式联合作业，并应用于东北等粮食主产区。

1. 耕整地机械发展现状

我国从20世纪50年代中期开始研究，并于70年代提出了深松耕法，进入90年代相继出现了翻耙联合、松耙联合、松旋联合及灭茬深松起垄联合的复式耕作机具，但是同发达国家相比，在为大功率拖拉机配套的联合整地机械方面差距还很大，主要是工作幅宽较小、工作部件材料不配套，大型联合耕耘机和复式多功能联合整地机成熟产品也非常少，且品种单一。目前，大型耕整地机械主要依靠国外进口。中耕管理机械方面，国内目前多功能高地隙自走式动力机械技术的开发和产品生产在农业机械领域仍然是个空白。现有中耕机多数采用从动型工作部件，可完成松土、除草等项作业。这类机械结构简单，在土壤较好时可满足农艺要求，但对杂草过多的地区以及黏重板结土壤作业效果不理想。

2. 精密播种机械发展现状

我国从20世纪70年代初开始研究和开发精密播种机械，主要是半精量播种。从20世纪80年代起，开始研究单粒精播，主要研制精密排种器。进入20世纪90年代，随着国外不同类型精密播种机的相继引进，新型播种机和不同类型的排种器不断出现，精密播种的优越性得到了充分的体现。由于速度原因，机械式精密播种机的发展受到一定的限制，而气力式精密播种机对种子尺寸要求不严格，不伤种，通用性好，具备高速作业的性能，能满足为大功率拖拉机配套和宽幅作业的要求，因此气力式精密播种机的发展前景很好，将成为21世纪精密

播种的发展方向，是国内外各大农机企业竞相发展的机型。国内播种的主要问题是播种精度低，大型播种机尚未有折叠式，缺少电子监控装置，宽幅气力式种子精确输送技术刚刚开始研究，同国外先进播种机相比，技术上存在较大差距。

（1）免耕播种技术　目前国内生产小麦免耕播种机的企业为数不多，基本上是给中功率以下拖拉机配套使用的悬挂式机型。小麦少免耕播种机基本上有三种类型：第一种是3行、6行、9行、12行小麦免耕施肥播种机，箭铲式开沟种肥混施，行距20cm，主要问题是秸秆覆盖通过不畅、易堵塞，严重影响作业质量，工作效率低；第二种是带状旋耕播种机，大小垄种植，化肥能播施到种子下面，出苗整齐，主要问题是作业扰土量大，旋耕刀具磨损快，易断裂损伤，动力消耗大，工作效率低；第三种以与88.3kW（120马力）拖拉机配套的条播作物免耕播种机为代表，圆盘式开沟，最大行数达到28行，施肥、播种、镇压一次完成。

（2）精量播种技术　以节省种子、提高作物产量、降低能耗为主要特点的精量播种技术是当前播种机械发展的方向之一。目前，国内播种机械的精量播种技术研究主要侧重于两个方面：一是研究播量调节方法，确保达到精密播种的要求；二是针对漏排种问题，研究如何实现自动补种。

目前，国内使用的精密播种机的播量调节多是经过计算后，通过手动调换不同的链轮或排种器进行有级调速实现的，费时费力，很难达到精密播种的要求。近几年国内多家研究机构及大学进行了精密播种机排种自动控制系统的研究，开发出精密播种机的排种自动控制装置，解决了地轮打滑和手动调换链轮或调整排种器排种量的问题。该装置用步进电动机代替地轮作为执行机构带动排种器转动，减小了地轮打滑对播种均匀性的影响，从而提高了播种均匀性。

另外，各类精密排种器普遍存在漏排种问题，使精密播种达不到要求。有学者研究了具有自动补种功能的机械式精密排种系统，增加了具有自动补偿功能的副排种器，当主排种器出现漏排种现象时，由测控系统的传感器测出并向单片机发送信号，再由单片机发送执行信号来驱动副排种器工作，自动补种，解决漏排问题。

（3）变量施肥技术　20世纪90年代以来，随着全球定位系统、地理信息系统、遥感技术等相关技术的发展，精准农业技术在一些发达国家蓬勃兴起。变量播种、变量施肥技术是精准农业的重要内容之一，解决了种子播种量不精确、化肥利用率低、环境污染等问题。我国从20世纪90年代后期开始进行精准农业技

术的研究，近年来变量播种、施肥技术在我国北方地区引起了人们的重视，在自动变量播种机控制系统、变量施肥执行机构等方面进行了大量工作，并取得了一定的成就。控制系统多应用单片机技术，实现对排种器轴、排肥器轴转速的控制，从而实现播种量、排肥量的控制。变量施肥执行机构的种类比较多，主要分为电控机械无级变速器型、电控液压马达型、电动机直接驱动型三种类型。对比分析研究得出：①电控机械无级变速器变量施肥执行机构技术水平相对较低，机械结构相对简单，工作比较可靠，成本比较低，适合目前我国国情，便于在国产播种机上进行改装，适合于中型变量施肥播种机；②电控液压马达变量施肥播种执行机构技术水平相对较高，为机械-电子-液压相结合，变量控制结构相对复杂，成本比较高，适合于大型变量施肥播种机；③电动机驱动变量施肥执行机构技术水平适中，变量施肥机构相对简单，成本低于电控液压马达型，但驱动排肥器的数目不能过多，否则驱动力矩过大，因此该类型机构适用于中小型变量施肥播种机。

（4）智能监测及报警技术　精密播种机在播种作业时种子流动过程是全封闭的，仅凭人的视听无法直接监视其作业质量。播种机工作时发生机械传动故障、种箱排空、导种筒堵塞等现象均会造成漏播，尤其是大型宽行播种机，其作业速度高、播幅宽，如发生上述现象则会造成大面积的漏播，导致作物大幅减产，因此国内外都在积极研制与精密播种机相配套的智能型监控装置，以减少漏播带来的损失。我国对精密播种机监测系统的研究起步较晚，但发展较快。目前广泛采用的是电子监测和报警装置，其主要功能有：在排种口不下种时用光、声信号报警；用光信号显示排种器轴是否转动；用数码显示每行播种频率、行播量及播种面积累计数等。监测系统主要采用的检测方法有压电声电法、光电法、计算机视觉技术等。压电声电法是利用压电、声电传感器将下落种子机械碰撞产生的声脉冲转化为电脉冲，但是如果两粒种子同时碰撞，就会当做一个种子计数，会使检测结果不准确。计算机视觉法是利用高速摄影作为手段，测定种子的投种轨迹，国内已经运用计算机图像处理技术建立了精密排种器性能检测系统，检测试验表明，该系统的精度能够满足精密排种器性能检测的要求，但该方法成本较高，尤其是应用在多行作业的播种机上时，检测的排种器较多，会大大增加成本。光电传感器结构简单、价格低廉，是一种非接触式的检测元件，符合排种检测传感器既要准确又不能影响种子正常下落的要求，具有响应速度快、性能可靠等特点，因此国内学者主要在光电传感器方面作了大量研究。

3. 国内发展趋势

随着农业生产技术的集成化和产业向机械化、规模化、信息化发展，“高效、节约、环保”成为耕作农机具长远发展的主题。改变传统的低效机械耕作方式，向以宽幅、高速为特征的高效化方向发展，改革传统耕作制度向集成化联合作业方向发展，注重节约向精准、自动及智能化方向发展，生产与生态环境协调向保护性作业方向发展。

（1）提高监控系统的灵敏度　提高监控系统灵敏度是监控系统发展的重要一环，也是精密播种监控系统发展的第一走向。现在很多研究利用微型单片机来控制监控装置，由于单片机是根据程序设置的时间来对监视传感器、转换线路和报警系统进行监控的，因此提高了报警灵敏度，取得了一定的效果。

（2）自动补偿式监控系统　当获得报警信号后，即使马上停机检查故障，但由于从报警到停机这段时间不能够正常播种，也会造成漏种；当故障排除后，便从堵塞的位置开始重新播种，造成了漏播和重播。如果有自动补偿式监控系统，则当监控系统检测到有故障造成不能正常播种时，报警系统瞬时启动，同时启动补偿系统代替出故障的部件，继续播种，直到停车检查，避免了漏种现象。因此自动补偿式监控系统的研制，将大大减少漏种造成的损失，同时也将极大地提高播种机的工作质量，进一步提高自动化、智能化水平。

（3）土壤养分在线实时检测技术　作物健康生长的基源在于土壤提供营养的适应性，针对作物品种、生长阶段、特殊营养需求有针对性地施用养分，土壤养分在线实时监测成为最关键的技术。土壤数据采集仪器价格昂贵、性能较差，大面积、高密度土壤取样化验成本太高，很难推广应用并做到精细化；而阻碍遥感技术应用的主要因素是专业化的设备标定、提取农田信息的主观性和反映农田信息的间接性、遥感信息处理对终端用户的限制性、信息获取的滞后性、信息分析处理方法等。由于空间分辨率和光谱分辨率问题，不能满足实际应用的需要。随着高分辨率遥感卫星（1～3m）、飞机航空遥感、田间高架遥感服务的提供，加强遥感光谱信息与土壤性质、土壤养分关系的研究及土壤养分在线实时检测技术的研究将是今后研究的重点。

（4）变量施肥系统的产业化　DGPS 的定位精度已完全能满足精确施肥的技术需要，但自动化机械变量施肥还存在许多问题，有待于进一步发展。进一步做好土壤养分监测系统、作物生长专家智能决策系统、变量施肥系统的集成技术，重点研究自主知识产权的变量施肥控制系统，达到实用化，降低成本，使其有利

于推广应用。

（5）施肥专家决策分析系统的简单化和智能化　专家决策分析系统的地域性、适用性和通用性方面应与精确变量施肥紧密结合，因为现在许多专家决策分析系统需要的变量过多或普通方法难以测定，即施肥专家决策分析系统需要进一步简单化和智能化。目前专家决策分析系统在使用中给出的决策结果与实际误差太大，不如人工决策准确，这是今后要解决的问题。

8.3.2　国外技术发展现状与趋势

1. 总体技术发展现状与趋势

（1）进一步向大型化和高效化发展　国外发达国家的大型复式作业装备经过两个多世纪的发展，不断融合现代液压、仪器与控制、现代微电子和信息等高新技术，并向智能化、机电一体化方向快速发展。不仅品种繁多，而且质量精良，技术水平越来越高，从根本上改变了传统农业耕作方式。为了降低农产品成本，发达国家的农业规模不断扩大，在这一需求的拉动下，大型复式作业机具进一步向大功率、大型化方向发展。

（2）向多功能、复式联合方向发展　复式作业是将几道工序合并到一种机具上，通过一次作业完成，以充分利用功率，减少油耗，节约劳动时间，减少对土壤的压实。过去常见的是旋耕、施肥、播种一体的复式作业机具。现在的新发展趋势：一是适应保护性耕作的要求，生产出免耕深松、灭茬、施肥、播种一次完成的机具；二是兼顾气吸/吹式精密播种、施肥等高性能作业机具的要求，将多种高性能机具前后挂接，进行联合作业。这些多用途、多功能、复合技术的应用，为不同的作业需要提供了专业变型，促进了产品的多样化，提高了设计、制造和使用环节的经济性，最大限度地满足了不同地区、不同用途和不同用户的广泛需求。

（3）向控制智能化、操作自动化和作业精细化发展　随着计算机和电控、信息技术的突飞猛进，大型复式作业装备也向高度自动化、智能化方向发展。电子技术的应用逐渐从监控功能向智能控制过渡，采用中央处理和总线技术，对机具进行智能化控制。田间自动导航系统、机器视觉系统、激光控制平地技术等精准先进技术的应用，使大型复式作业装备能够实现精准、高效、低功耗和精细化作业。

（4）向节约能源和环境保护方向发展　目前，全球有 70 多个国家推广应用

保护性耕作技术，美国、加拿大、澳大利亚、巴西、阿根廷等国的应用面积已占本国耕地面积的40%～70%。基于大功率拖拉机的多功能复式作业机具、有利于改善土壤环境的深松浅耕联合整地机具、节约种肥的精密播种施肥机具以及高效低功耗的双向液压调幅铧式犁等已经成为耕作机械发展的主流。

2. 大型耕整地机械技术发展现状与趋势

（1）宽幅高速，发挥效能　与农业规模化要求和农田作业拖拉机功率的持续提升具有相关性。铧式犁工作幅宽已达到9m以上，大型整地机具（圆盘耙、全面耕耘机、整地机等）的工作幅宽已达到20m以上。宽幅机具为便于道路行走，多采用机架折叠或横向运输装置，实现宽幅作业窄幅运输。机具的作业速度不断提高，耕整地作业速度达到10～15km/h，播种作业速度达到8～12km/h。采取了满足高速作业要求的耕作部件形状结构、表面减阻、耐磨延寿、开放工况摩擦副润滑等相应技术措施。

（2）复式联合，节能降耗　国外联合耕种机械发展迅速，不仅有多种形式部件构成的整体式联合作业机具，也用组配方式将各自可独立作业的机具，按照需要组成联合作业机组，以及采用分组悬挂（在拖拉机前、后）的方式将不同机具组合，实现了联合作业，如翻耕-整地、深松-整地、复式-整地（碎土、平地、镇压）及灭茬-松土-合墒-碎土-镇压等为代表的联合作业等。

（3）缩短辅助，提高效率　最关键的是缩短无效工作时间。大型机具多装备有自动挂接装置、安全保护装置、电子监控装置及液压调整、控制等系统。减少了与拖拉机连接、调整和排除故障等辅助工作的时间，提高了机组的有效作业效率。

（4）驱动机具，改善功能　充分利用拖拉机动力输出效能，发展驱动型耕作机具，提高了作业功能，改善作物生长的土壤环境。

（5）自动调控，提高质量　广泛应用液压、电子、自动控制技术，如应用液压技术调整机具的作业幅宽、耕作深度、部件作业偏角和倾角姿态等工作参数，应用电液联控技术变换作业与运输状态、调控仿形，提高作业质量。

国外存在两种主流机型：折叠式联合耕耘机和多功能联合整地机。国外联合耕耘机已得到广泛应用，它的主要作用是进行播种前的松土和碎土整地作业，同时又起到消灭田间杂草的作用。耕耘机根据作用效果和用途不同，配有不同结构形式的工作部件，常用的工作部件有以碎土为主的双翼铲和以松土为主的双尖箭形铲。为了提高碎土效果和田间通过性能，多采用弹性柄或弹性柄与缓冲器组合

式铲柄，作业幅宽可达到 6～24m，作业速度最高可达到 10～15km/h。随着大功率拖拉机的应用，目前已开始推广应用大型复式联合作业机具。前苏联早在 20 世纪 50 年代初开始研究，到 20 世纪 80 年代末，已研制推广了 110 多种型号的联合作业机和复式耕作机具。

3. 精量（密）播种机械技术发展现状与趋势

采用多种气力原理的精（密）量播种技术在中耕作物、经济作物、蔬菜等的播种机产品上广为应用，其中小粒条播作物多采用气吹式播种，中耕作物多采用气吸式播种，种肥集中式气力输送技术在大型播种机及整地播种联合作业机上得到广泛应用。目前在欧美国家，机械化播种已基本实现了精密化，并进一步向宽幅、高速、排种气力化、免耕生态化、种肥施用精准化、种肥监控智能化等方向发展。

（1）宽幅、高速　国外播种机行数不断增多，最多播种行数达上百行，普遍采用液压折叠式机架，实现宽幅作业、窄幅运输。播种速度日益提高，已由 20 世纪 90 年代初的 6～8km/h 提高到目前的 8～20km/h。

（2）排种气力化　从 20 世纪 80 年代开始，美国、澳大利亚、加拿大、法国等国家研制并广泛使用气力式精密播种机械，其中气流一阶分配式集排式排种系统大量应用在谷物条播机上。气力式排种器在提高单粒播种质量、调控播量、防止伤种和提高对不同种子的适应性等方面水平不断提高。

（3）免耕生态化　西方发达国家早在 20 世纪初就开始了保护性耕作技术及相应配套机具的试验研究，先后提出了“最少耕作”理念和“保护性耕作系统”。在机械设备上，许多国家拥有相对成熟、技术先进、性能可靠的免耕施肥播种机，如美国约翰迪尔、美国大平原（Great plains）、加拿大 Flexi-coil、澳大利亚 Johnshearer 等著名公司都生产免耕播种机。免耕播种机一般应用大直面圆盘或波纹圆盘切断秸秆开沟、施肥、播种、镇压，机具多为大型牵引式。欧洲免耕机械应用三圆盘耕耘播种技术和旋耕播种技术联合作业。

（4）种肥施用精准化　20 世纪 90 年代以来，精准农业技术在美国等发达国家蓬勃兴起，并初具规模，尤其是美国中西部的大平原地区，以土地平坦和经营规模大等优势发展最快，主要是利用卫星定位系统实现处方图基础上的变量播种、施肥。一般采用全电控液压马达变量施肥播种执行机构，反应速度快，只需 3～5s 即可实现精确可靠的变量播种、施肥作业。另外，播种机生产厂可提供卫星纠偏、基站纠偏及 WAAS 纠偏等纠偏方式供用户选择，精度可达厘米级。利

用约翰迪尔自己精准的卫星导航系统，通过三维画面及声音报警对机器进行导航，可完全取代划行器，更能减少漏播、重播，节省成本，提高工效，可夜间作业。

（5）种肥监控智能化　国外对精密播种机智能监控系统的研究和应用始于20世纪40年代，在这方面法国、美国、前苏联都相继做了大量的试验，研究出了不同形式的自动监控系统，不仅可以对不同作物、不同播量的排种器进行监控，而且可对漏播、重播分别进行声光报警、定量统计以及显示播种株距、漏播率、重播率和合格率等操作，也可根据需要把这些参数打印输出。

8.4　与国外先进国家相比存在的问题分析

（1）工作部件种类少和作业条件适应性差　国外大公司系列产品都有多种类型的工作部件，如播种机的开沟器、排种器、覆土镇压器等，用来适应不同作业条件和用户的需求。在我国生产的耕种机具中，多数产品主要部件种类少，有的产品采用一种工作部件来应对多种使用条件，实践证明其对我国多种土壤类型、多种自然地理条件的适应性差，对需求的满足程度低。

（2）产品“三化”程度低　发达国家通过提高“三化”（系列化、通用化、标准化）水平，达到以较少的工作部件组成多种型号产品的目的，满足不同的性能要求。如西班牙赫尔曼诺斯·格雷公司有10个系列、34种型号的圆盘犁，12个系列、82种圆盘耙产品。美国约翰迪尔公司的耕耘机，由同类工作部件组成19种型号，可与67.7～230kW拖拉机配套。我国相当多企业产品零部件的通用化系数低，系列产品少，一部分企业的产品没有依照有关国家标准和行业标准执行，产品相互间不配套。

（3）先进技术应用发展缓慢　发达国家耕作机械调整机具的工作参数、改变机具的作业状态、调整机具与拖拉机的相对位置、改变机具的总体尺寸、驱动工作部件等广泛应用液压技术。电子、自动控制技术也得到广泛应用，智能化耕种机械包括自动控制精度的平地机、精密播种机、施肥机和微型计算机控制的智能化拖拉机-旋耕机系统等，已成为成熟产品。我国耕种机械产品在应用先进技术方面发展缓慢，液压技术应用很少，电子、自动控制技术和智能化技术尚在探索阶段。

（4）制造材料发展缓慢　发达国家一些铧式犁产品采用合金材料（含金属锰、铬等）制成的犁梁，并进行热处理。犁壁普遍采用不等厚的三层钢板复合

制造。采用“Triplex”犁壁钢板，犁壁涂有塑料涂层，以降低牵引阻力。犁铧采用新结构、新材料和新制造工艺大大延长使用寿命，如采用碳化钨的可换铧尖后使用寿命延长 4～5 倍，含耐磨金属的犁铧使用寿命延长 50%，采用新制造和热处理工艺使用寿命延长 20%～25% 等。我国耕种机械产品在新材料应用上进展缓慢，特别是专用材料，如大断面空心管材、犁壁专用钢板、周期轧制犁铧钢等的应用停留在 20 世纪七八十年代的水平。

（5）制造工艺发展缓慢　发达国家以冲压-焊接件代替铸造件，用薄板冲压成异形断面制造各种杆件和机架，对主梁等材料进行工艺处理，有的产品对犁梁进行热处理和表面喷丸处理，提高了精度、强度。传动箱体等零件的加工采用数控机床、加工中心和加工自动线。采用高频焊、气体保护焊、自动电弧焊等先进的焊接技术、表面涂层技术和薄壁铸造技术。犁铧、锄铲、开沟器等易损件采用喷焊、堆焊耐磨材料及增加塑料和尼龙材料覆盖层、喷涂耐磨金属等措施延长使用寿命，降低使用成本。

8.5　技术和产业发展思路与规划

以农田作业规模化发展与大功率配套的复式作业机具为重点，加强协同创新，突破作业部件特殊与异性材料、重型负荷工艺处理、作业流程自动化检测共性技术，丰富作业部件品种，强化“三化”程度，培养关键零部件制造能力，集成产业化不同种类、不同种植模式、不同区域适应性的整机产品。

8.5.1　加强农田复式作业装备信息化技术研究

重点开展 GPS、GIS、RSS 信息技术，农田精准作业导航与变量作业控制等数字农业技术研究。研发重大农业基础共性软件平台，农业专用智能传感器、控制器和田间信息采集设备，农产品电子标签，田间精准作业智能化装备等，集成建立农业生产精准作业系统及国家农业信息服务网络。

8.5.2　加强新材料、新工艺、新技术在产品上的应用

在产品上广泛应用高强度、抗磨损、长寿命的新型材料，广泛应用液压技术、电子与自动控制技术。在产品制造上广泛采用高效率、高精度及环保型的生产工艺。在生产过程中广泛应用智能化的耕作机械，包括智能化耕整地机具、播种机具、施肥机具等。

8.5.3 加强复式少耕整地机具的研究

重点研究工作部件脱附减阻、自动避障、宽幅折叠、整机操控等技术。结合不同区域的土壤条件、种植模式，研究不同组合功能和作业的经济性，一次作业完成灭茬、深松、碎土、平整、镇压等不同组合的联合作业。

8.5.4 加强耕整播种联合作业机具的研究

重点研究入土工作部件减阻技术、组件整机防堵技术、原茬地种床整备技术、种肥箱集中供送技术、种肥气流输送技术、精量分层施肥技术、高速机械与气力式精密排种器技术、高速精密排种技术、种肥播施智能监控技术、宽幅折叠技术、接合行对接技术、联合作业机具自导航技术，开发种肥集中供送系统、原茬地种床联合整备部件、清障装置、种肥播施智能化监控系统。集成专家智能决策、自动导航驾驶系统，开发与不同功率级大功率拖拉机配套，适合不同作物，能一次完成种床整备、分层施肥、精量播种、覆土镇压联合作业的机具。

8.5.5 变量中耕施肥除草机的研究

从发展趋势看，为了保护农业生态环境、发展可持续农业，作物生长培土施肥、化学药剂除草控制、行间机械中耕将是发展方向，而且中耕管理工作量大，季节性强，苗期机械作业减少伤苗难度较大。实践证明解决苗期不同阶段的机械化中耕施肥成为保障增产的重要农艺措施。通过特殊传感器的创新，重点研究土壤养分快速检测技术、植物营养检测技术、杂草识别技术、专家智能决策技术，适宜高速作业、减少伤苗的行间除草、培土、变量施肥部件以及除草剂对靶施用系统，根据土地产量、土壤养分含量及作物对营养成分的需求情况、杂草分布等，进行变量施肥、中耕除草培土、株间杂草喷药等。

8.5.6 高产田基本建设机械的研究

随着国家提高农业基础地位，农田基本建设越来越受到重视，改造好占耕地67.3%的中低产田、进行盐碱地改造和土地整理，是保障耕地数量和增加农业产量的基本措施。首先，重点研究激光发射器、接收器、平地部件自动控制技术等，制成激光平地机械。激光平地机械化技术成为水稻节本增效的有力措施：一是水田采用激光精密平地后，可减少池梗占地面积，地块面积比原面积增大几倍

到几十倍，有利于机械在田间进行各项作业；二是利用激光精密平地后，地块平整，实现“寸水不露泥”，可保证水稻在各阶段生长中都能获得所需要的最佳水层，每亩增产可达 20% ~30%；三是节省用水、降低费用。其次，研究碱地改良技术和机具。开发可进行自动化开沟、敷砂、铺管、回填等联合作业的大型机械，配套自动导航、激光测高等自动化控制系统，形成碱地埋管改碱机械化改造技术。研究土壤剥离技术和机械、深松技术和机械，配套形成用于土地整理的成套机械化装备。

8.5.7 高效、联合作业技术和机具的研究

随着农业生产规模的扩大，农业动力的单机功率将进一步提高。需要发展高效、联合作业技术。机具大型化，提高作业速度，减少辅助工作时间，机具的操作和调控智能化和自动化，从而提高机组的作业效率，是发展趋势。需要发展驱动型耕种机具，提高作业能力，充分发挥拖拉机耕作机组的有效功能。需要发展各种类型的联合作业机具和复式作业机具，在提高生产效率的同时，减少能量消耗和对土壤团粒结构的破坏。

8.5.8 节约型、保护性耕作技术和机具的研究

发展节约型（节能、节水）耕作技术和机具是世界农业长远追求的目标。各国将不断探索适合本国条件的保护性耕作最佳模式。如深松（少耕）加大量秸秆覆盖的保护性耕作，用 70% 以上甚至 100% 的秸秆覆盖率来充分发挥保护性耕作的效益，大力发展覆盖作物，具有抵抗土壤侵蚀、疏松土壤、增加土壤有机质（同时降低大气 CO_2 含量）、固氮，提供生产燃料乙醇的生物质资源，提高种植作物产量等作用。以节水和增产为主要目标、具有中国特色、节约型的覆膜种植技术将向扩大作物品种、适应区域广泛方向发展，与其适应的整地、覆膜、灌溉、播种机具也将得到进一步发展。如保护性耕作固定床、固定道作业，具有恢复土壤松软结构、提高土壤持水能力、改善作物根系生长条件的作用，特别是在干旱年份有降低投入和提高产量的效果。与保护性耕作模式相适应的深松（少耕）机具、表土少耕机具、覆盖作物的免耕播种机具及保护性耕作固定道作业所需机具将得到进一步发展。

第 9 章　精量植保机械

病虫草害防治是一项确保丰产丰收、提升农产品质量的重要措施，在农、林、牧、渔生产中具有不可替代的作用。现代农业生产的发展，不仅仅是产量的增长、成本的降低，更重要的是承载着保证农产品品质安全、生态环境持续发展的重任，表现了对精量植保机械很强的依赖性，精量植保机械已成为农业机械不可或缺的重要组成部分。随着科学技术的进步，精量植保机械的应用改变了不管有无防治靶标都采用均匀恒量的落后施药方式，以最少的农药剂量合理精确地喷洒于靶标，不仅能有效防治病虫草害，还能减少农产品农药残留、节约资源、降低环境污染，是未来农业可持续绿色发展的必然。以降低农药使用量、增强药液对靶标的附着、减少农药雾滴漂移对环境的污染和实现精准防控为目的的精确、精量植保机械成为发展方向。

9.1　生产发展概况

9.1.1　国内情况

1. 产品生产情况及主要特点

我国植保机械产品总体上包括手动植保机械、机动植保机械、拖拉机配套植保机械、航空植保机械等类型。手动植保机械约 35 个品种，保有量约 5 800 万台，占整个植保机械保有量的 80%。机动植保机械约有 26 个品种，保有量约 300 万台，主要产品是背负式喷雾喷粉机和担架式机动喷雾机。拖拉机悬挂式或牵引喷杆式喷雾机及风送式喷雾机约 12 个品种，保有量约 4.5 万台。航空超低量喷雾喷洒装置 2 个品种，总保有量不足 200 台。

我国施药机械的生产和使用以中小型为主，特别是在类型众多的施药机械产品中，手动喷雾器目前仍占绝对主导地位。从数量上看，手动喷雾器年产量 800 万 ~900 万台，占施药机械总产量的 90% 以上，背负式喷雾喷粉机的年产量约 80 万 ~100 万台。机动喷雾机有一定的生产规模和产量，拖拉机配套的大中型喷

杆喷雾机产量较小，年总产量约几千台，且以喷幅 6～12m 的中小型喷杆喷雾机为主，18m 以上的宽幅喷杆喷雾机产量更小。进入 21 世纪以来，脉冲喷气式动力烟雾机、气压式自动喷雾器等相继研制成功。果园等特殊需要的喷雾机则基本上还是空白。全行业年完成国内销售额 8 亿～10 亿元。

背负式手动喷雾器和背负式机动弥雾机为目前应用最广泛、用量最多的施药器械，农药的有效利用率仅为 20%～40%，大部分农药都流失到土壤和环境中，不仅浪费巨大，而且严重污染生态环境。“九五”以后，我国科研机构相继开展了宽幅喷杆喷雾机、风幕式喷杆喷雾机、果园自动对靶喷雾机、高效宽幅远射程机动喷雾机、水田风送低量喷杆喷雾机等新技术、新产品的研究工作，取得了一批科研成果，研制出一批较先进的精量植保机械新产品，对提高我国植保机械行业的技术水平，实现及时、快速、彻底防治起到明显的促进作用。但是目前成果的产业转化率还不高，新技术、新产品推广应用的速度较慢。

2. 产业结构情况

据有关部门统计，目前我国在工商部门登记注册的植保机械生产企业有 300 多家，其中以小型和个体私营企业为多，主要分布在除西藏、青海、宁夏、内蒙古以外的全国 20 多个省、市、自治区。虽然分布范围广，但 70% 以上的生产企业都集中在浙江、山东和江苏等省。目前施药机械生产企业有以下几种：小型国有企业，占企业数的 5%；股份制企业、有一定规模的私营企业和台资、合资企业，占企业数的 35%；小型私营个体企业，占企业数的 60%。这 300 多家生产企业中，手动喷雾器生产企业 100 多家，背负式喷雾喷粉机生产企业近 100 家，其余的企业生产动力喷雾机、喷杆喷雾机、液泵及其他部件。

3. 市场发展情况与需求、趋势预测

目前，我国植保机械约 70% 的产品技术水平仅相当于国际 20 世纪 60—70 年代的水平，只有约 10% 的产品能够达国际 20 世纪 80 年代末 90 年代初的技术水平。其主要表现在以下三个方面：第一，施药技术落后。一家一户的个体、小型施药，起不到统防统治的效果，起不到国外空中航化规模高效植保、地面机动宽幅快速植保、小型机具补防的三位一体防治效果。超量喷洒仍然是主要防治方法，对精准、精量施药认识不足，对环境、农产品质量影响较大。第二，防治器械落后。我国常用植保机具仍是单管喷雾器、压缩式喷雾器、背负式喷雾器老三样，而且植保机械种类较少，产品单一，高大林果树木等专用植保机械还没有发展起来，大多利用同一机具进行多种不同的施药作业，无论是施药器械的药液混

合装置、动力装置还是喷雾装置，其机械化、自动化、精确化程度都很低下。第三，对人身安全和环境影响的关注缺乏强制性实施规范。产品生产企业规模较小，标准化、规模化制造能力较低，产品“跑、冒、滴、漏”老大难问题仍然普遍。有关超量施药对土壤、水源的污染，飘移对大气环境的危害的研究缺失。落后的防治理念、简陋的防治器械手段、分散的经营主体、狭隘的利益驱使，导致的后果不仅仅是简单的农药利用率低、浪费严重，更主要的是农药异位残留、雾滴飘移扩散加重对农产品品质和人类生命安全的危害、生态的恶化。植保机械需要从根本上进行创新和发展。

目前全国施药机械化水平不超过 10%，农民正在使用的植保机械产品有 90% 已不适合生产的需要，应尽快强制性更新和淘汰。根据国家农业发展需要，我国植保机械化水平要提高到 50%，专业化统防防治面积达到 50%，农药利用率提高到 50%，植保机械每年的需求总量将是巨大的。2020 年农作物重大病虫害专业化防治的覆盖率要达到 50%，高工效、高防效并适合我国国情的精确、精量植保机械的开发与应用已成为实现这一目标的重要保障因素，精确植保机械化、专业化防治的市场前景十分广阔，大有可为。

我国植保机械化水平显著滞后于发达国家，并已成为导致农药用量过高、有效利用率偏低、农产品质量安全危机、农药残留超标严重、对外贸易受阻以及环境污染加剧等一系列问题的重要成因。随着科学技术的不断发展，植保机械的技术水平也在日益提高，高效、防飘、精确精量可控喷雾等技术的商业运用也有了较大的进展。农业部《关于加快推进植保机械化的通知》要求，重点推广对靶喷雾技术、防飘喷雾技术及智能化施药装备与技术。

9.1.2 国外情况

1. 产品生产情况及主要特点

根据各国的情况不同，国外植保机械的发展各有其特点。日本地块较小、经营分散，故以发展小型机动式植保机械为主，为提高生产效率，近年来开始发展较大型植保机械，如自走式机动喷粉喷雾弥雾机。美国、加拿大等国土地面积较大且比较平坦，故以发展拖拉机配套的悬挂式和牵引式大型植保机械为主，同时大田植保飞机施药也较普遍。欧洲国家农户大田植保普遍使用宽幅喷杆式喷雾机。

农作物的病虫害防治和化学除草采用大型悬挂式或牵引式喷杆喷雾机。其药

液容量为 400～3 000L，喷幅达 18～34m。大面积种植的棉花、常规机械难以进地的水稻田和规模面积较大的草原牧草采用农业专用飞机进行喷药。目前，美国拥有农用飞机 600 多架，日本等部分国家应用直升机开展农林业植保作业，果树和啤酒花等经济作物采用风送式和高架喷雾机喷洒农药，形成了以大型植保机械和航空植保为主体的防治体系。

大型植保机械主要分为喷杆式喷雾机、风送式喷雾机和航空施药机械三大类。中小型植保机具虽然少，但产品的性能优越、外形美观、工艺精湛，主要有手动喷雾器、喷射式机动喷雾机、背负式液泵机动喷雾机和背负式机动喷雾喷粉机四大类。国外植保机械的主要特点有：

1）普遍应用 GPS 技术。

2）传统的机械传动已被液压传动、电气传动所替代。

3）采用计算机监测、控制系统。机具作业中的药液喷洒压力、喷量、行进速度、药箱中药液余量等参数均可在计算机屏幕上显示，并自动控制或由操作者通过仪表面板来操作控制。

4）自走式机具大多采用四轮驱动，机动灵活。

5）风力辅助技术用于喷杆喷雾机已屡见不鲜。

6）普遍使用农药注入系统。

7）快速接头、快速转换喷头、防滴阀、自洁式过滤器、组合式控制阀等先进技术已被广泛采用。

2. 产业结构情况

国外植保机械的发展以美国、法国、德国、意大利、丹麦、日本等发达国家为代表。从目前情况来看，西欧与美国的厂家仍以生产高效的大中型拖拉机配套的喷雾机和航空喷雾机械为主，如丹麦的哈地公司（Hardi）、美国的喷雾系统公司（Spraying System）、英国的微米（Micron）公司等，而日本则以小型喷雾机的研究为主，如有光公司等。

随着技术的不断提高，产品的应用领域也在不断扩展，在今后相当长的一段时间内，很多国家正向与拖拉机配套的低量和超低量喷雾、静电喷雾、控滴喷雾（CDA）以及风送式喷雾方向发展。另外，由于各种技术的相互渗透，一些先进技术也逐步应用于植保机械领域的研究之中，如全密封自动配药混药、宽喷幅风送飘移、微型计算机信息技术、模糊控制技术以及液压控制等。

当前国际上农药的施用技术和喷施药机械的发展趋势是：精细、低量、对靶

性。目前，世界各国都加强了农药喷洒技术的研究，许多学者提出了新理论、新概念，如超低量喷雾技术、静电喷雾、控滴喷雾、生物最佳粒径（BODs）、对靶喷雾、精密喷洒等，其宗旨都是以最少的数量，将农药均匀地喷洒于靶标，尽量减少农药向非靶区的流失与飘移，科学、经济、高效地利用农药，以达到最佳的防治效果。

信息技术、智能化技术、计算机技术等高新技术已融合到植保机械技术中。航空遥感技术，用于农作物病虫害的监测，它可以通过接收作物反射光谱的变化，及时而准确地预报病虫害发生的时间、规模、品种。全球卫星定位系统技术，用于航化飞机、大型喷雾机等大面积作业的植保机具的定位、导航、导向。欧美国家大多数大型植保机械都配有 GPS 接口和 GPS 接收器。有的机具还有信号接收转换功能，可以把接收到的信号转换为机具的操作指令，直接指挥机具调整作业参数（如喷雾压力、喷量、行走速度、方向等）。地理信息系统技术在病虫草害防治方面主要用于建立动态的地理信息资料库，这些资料与病虫草害的发生是息息相关的，如地理位置、地形、土壤类型、湿度、温度、降雨量、日照天数等。运用计算机技术，通过对当时数据的采集及与库存标准资料的对比、分析，可以及时准确地对病虫草灾害提出预警。智能化技术是近几年才应用到植保机械上的一项高新技术。所谓智能化技术，就是让植保机械具有识别能力，从而自动决定是否喷雾。初级的智能化技术只能判别靶标的有无；高级的不仅能判别靶标的有无，还能判别靶标的大小、形状、颜色，通过计算机的鉴别，进一步识别，从而做到真正意义上的对靶喷雾。据资料介绍，运用该项技术可节省农药 60% ~70%。在欧美国家，计算机技术已经普遍运用到植保机械上。据资料介绍，运用计算机技术的机具在作业时，一些主要的作业参数均可在计算机屏幕上显示。有的机型在作业前只要输入需要的参数值，在整个作业过程中，计算机就会不断提醒操作者减慢或加快行走速度，降低或提高转速等。

“三个安全”在植保机械上得到了充分体现：保护性喷洒，增加防护装置，防止雾滴外逸。这些防护装置有：喷头防护罩（主要用于手动喷雾器）、喷杆防护罩（用于喷杆喷雾机）、防护刷等。环保型的喷射部件有：防飘喷头、泡沫喷头、防滴装置、恒压装置等。循环式喷雾机，也称为回收式喷雾机或隧道式喷雾机，作业时，该机具可以对未击中靶标的雾滴进行回收，循环使用，在大大节省了农药的同时，又大大减少了农药对环境的污染。实践证明，使用这种技术可节省农药 50% ~60%。气流辅助式喷杆喷雾机可以增强雾滴的穿透力，大大减少

雾滴的飘移。另外，配备各种人身保护装置和农药注入系统。

植保机械部件的生产趋于专业化、标准化。欧美发达国家的植保机械生产，基本上都实现了社会化大协作和零部件的专业化、标准化生产。比如喷射部件、风机、发动机、过滤器、液泵、药箱等都有专门的公司生产，甚至机架、喷杆都有专业生产厂商。主机生产厂商的任务只是如何把这些先进的零部件按市场的需要组装成整机，体现出先进的设计理念。专业化生产大大缩短了主机生产厂商开发新产品的周期，减少了开发成本，这也是欧美国家植保机械新产品、新机具不断涌现，始终占据植保机械发展前沿阵地的重要原因之一。同时，专业化生产对提高植保机械零部件的科技含量、质量，降低成本都起着十分重要的作用。另外，对植保机械进行测试、检测的设备如喷头试验台，流量、压力检测装置等也有专业厂商生产。

3. 市场发展情况与需求、趋势预测

国外植保机械发展的总趋势是向着高效、经济、安全方向发展，随着计算机相关技术的发展，各种自动化的产品也纷纷出现。因此，可以说在未来几年中将计算机控制技术、计算机视觉技术以及模糊控制理论、植株病虫害程度、杂草泛滥趋势等引入到精确喷雾机械的设计研究，是进一步提高作业效率和改善劳动条件的关键，也是植保机械与精准施药技术发展的时代要求。

9.2 技术发展现状与趋势

精确植保机械的实现主要应用了精确对靶喷雾技术、施药防飘移技术、变量喷雾技术，并结合了光机电一体化、自动化控制等技术。

9.2.1 精确对靶喷雾技术

目前，国内外应用于植株目标（靶标）探测的有两种技术：一种基于地图（Map based），另一种基于实时传感器（Real Time Sensor）。

1. 基于地图的精确对靶喷雾技术

基于地图的精确对靶喷雾技术是利用全球定位系统（GPS）、地理信息系统（GIS）、遥感（RS）、传感器、计算机控制、决策支持系统、变量施药控制等先进技术，根据所处地理区域位置的作物病虫草害状况，自动调节施药量以达到精准施药。

在航空施药和地面喷施机械的位置跟踪和记录上，GPS 技术已经得到了广泛

应用。而在地面施药的应用上，首先需要病虫草情监测员携带 GPS 在田间调查，监测人员用 GPS 将不同区域的病虫草害的信息记录在地图上，该地图不仅包括所发现的病虫草的位置，同时也包含对病虫草密度的估计。再将这个病虫草害地图输入到相关的 GIS，GIS 可根据此地块的相关信息，如当前气象条件、今后预测的气象条件、作物生长时间和生长期记录、已使用过的农药种类和数量等对病虫草害数据进行分析，建立已发现病虫草害对作物生长影响的模型。最后根据效益指标确定如何进行防治作业，即形成处方作业图，达到主动防治的效果。

2. 基于实时传感器的精确对靶喷雾技术

基于实时传感器的精确对靶喷雾技术主要是利用各种传感器实时地采集处于不同位置农作物的病虫草害信息并传给变量控制系统控制喷头进行喷雾。目前，国内外应用于植株目标（靶标）探测的有红外探测技术、超声波探测技术、图像探测技术和微波探测技术等，应用这些技术达到及时防治的效果。

（1）红外探测技术　红外探测技术由来已久，具有环境适应性好、系统的体积小、质量轻、功耗低等特点，红外线的发生原理简单，可操作性强，经济性好，是目前应用最广的一种植株探测技术。

（2）超声波探测技术　由于超声波具有激发容易、检测工艺简单、操作方便、价格便宜等优点，且超声波探测距离较远、不受影响，因此超声波探测技术被用于精确对靶施药。

（3）图像探测技术　图像探测技术主要是利用机器视觉技术实现目标图像的实时采集和处理分析，识别靶标的有无及其密度等信息，而且根据所得到的识别结果，分离施药目标与非施药目标，并以此为依据产生精确喷雾的控制策略。图像探测技术能获取的信息量最大，为靶标识别提供的技术平台最高。

（4）微波探测技术　微波探测技术利用电磁波对目标的反射特性进行目标探测和定位，能够精确地测定目标的方向、距离和速度。随着微波半导体技术的规模化应用，微波技术的物理实现不仅十分简单、廉价，而且体积很小，各种物体探测装置中都可以放进火柴盒大小的微波传感器，成为目标探测装置中常见的组件。微波探测技术不受温度、湿度、噪声、气流、尘埃和自然光照强度等环境因素的影响，能适应恶劣环境，抗干扰能力强，探测范围可超过 15m，可实现较远距离的精确对靶探测。

9.2.2　施药防飘移技术

在施药过程中，控制雾滴的飘移、提高药液的附着力是减少农药流失、降低

对土壤及环境污染的一个重要措施。雾滴太大附着力不足，容易从靶上滑下，雾滴过小则造成大量的飘移，因而雾滴的防飘移控制是一项重要技术。国外在施药防飘移方面采用了多项技术，如静电喷雾技术、辅助气流、防飘移喷头、风幕技术、雾滴回收技术等。

（1）静电喷雾技术　静电喷雾首先要使雾滴带电，同时与目标作物之间产生静电场。利用高压静电装置，在喷头施加足够大的负电场，喷嘴喷出的雾滴或粉粒带负电，并沿电力线方向运动，由于电力线具有穿透性，因此雾滴被吸附到靶标植物冠层内部，附着于植物叶正面和背面。该技术可以成倍地提高药液或药粉的覆盖率和均匀度，进一步提高了雾滴的有效沉积率，提高了药效和利用率，减少了因细小雾滴飘移造成的农药浪费和环境污染。

（2）气流辅助风送喷雾技术　利用风机高速旋转产生的强大气流，迫使作物叶片扰动，雾滴在气流的带动下，穿透能力提高，解决了常规喷雾时雾滴难以进入作物冠层内部的问题，特别是叶片背面的雾滴附着情况得到明显的改善。

（3）超低量喷雾技术　超低量喷雾是单位面积施液量很少的一种施药方法，该技术用于作物的病虫草害的化学防治，以治虫效果为最佳。超低量喷雾都采用转盘式喷头或转笼式喷头，用离心风机或轴流风机产生的气流带动其高速旋转将药液雾化成细微的雾滴；也有的喷头采用电动机驱动。超低量喷雾一般直接使用油剂农药且不稀释，节省了大量加水加药的时间及繁重劳动，适合于干旱缺水地区或山地使用。但是该技术只限于进行飘移性喷雾，不能在没有风或风力较大的情况下作业，且其使用效率和防治效果受风力、风向和上升气流等因素的影响较大。与目前常用的雨淋式喷雾方式相比，可以大幅度降低喷雾量，减少因频繁加水、加药的时间消耗，时间利用率得到提高，保证了机具作业工效。

（4）风幕式气流防飘移技术　在喷杆喷雾机（悬挂式、牵引式和自走式）的喷杆上增加了风筒和风机，喷雾时，在喷头上方沿喷杆方向向下强制送风，形成风幕，这样不仅增强了雾滴的穿透能力，而且在有风（小于四级风）的情况下，也能有效地减少雾滴飘移现象。采用风幕式气流防飘移技术，可以使喷头喷出的雾流在较高的位置上遇到向下吹送的气流，将药液雾滴特别是小雾滴带向作物基部，减少了雾滴飘移，这一点在自然风较大的情况下喷洒除草剂时显得尤为重要。同时，辅助气流还可将药液雾滴从地面（指未沉积在作物上的雾滴）向上反弹和吹动叶片，改善了叶片背面的雾滴沉积状况。辅助气流提高了药液雾滴的穿透能力，在稠密作物内可取得很好的沉积效果。使用辅助气流改善了药液雾

滴在作物上的沉积状况，可以使药液喷洒量和农药使用剂量得到大幅度的减少。在一般情况下，药液喷洒量可减少一半，农药使用剂量减少 25%。因此，采用风幕式气流防飘移技术是防止细小雾滴的飘移、提高农药利用率、减少农药对农业生态环境污染的有效方法，是联合国粮农组织推荐的一种先进的施药技术。目前的发展趋势是在不降低性能的情况下，使用新技术和新材料实现风幕系统的轻型化。

（5）防飘移喷头　目前欧美一些植保机械厂家开发了空气射流喷头（Air-injector）等新型防飘移喷头。另外，还有的喷雾机采用在喷头外面增加防风罩等方法，阻止作业时雾滴的飘移。

（6）雾滴回收技术　雾滴回收技术包括采用药液雾滴回收装置的循环喷雾技术和罩盖式喷雾技术。喷雾时雾流横向穿过作物叶丛，未被叶丛附着的雾滴进入回收装置，过滤后，返回药液箱。隧道式循环喷雾技术的研究重点主要集中在雾滴沉积特性、药液损失、药液回收率和防治效果等方面。罩盖式喷雾技术通过在喷头附近安装导流装置来改变喷头周围气流的速度和方向，使气流的运动更利于雾滴的沉降，增加雾滴在作物冠层的沉积，减少雾滴向非靶标区域飘失，达到减少雾滴飘失的目的。目前有气力式罩盖喷雾和机械式罩盖喷雾两种，气力式罩盖有风帘、风幕、气囊等形式，通过外加风机产生的气流来改变雾滴的运动速度，达到减少雾滴飘移的效果。

9.2.3　变量喷雾技术

变量喷雾根据 3S 技术或实时传感器技术所获取的单位作业面积的目标喷量信息，采用自动控制方式精确、快速地实现按目标喷量进行喷雾作业，同时具有良好的雾化特性。按照喷量调节对象不同可分为压力控制式变量喷雾技术、流量控制式变量喷雾技术和药液浓度调节式变量喷雾技术。

压力控制式变量喷雾进行喷量调节时会直接影响到雾滴的大小、飘移性以及分布均匀性，使得雾化效果难以保证。药液浓度调节式变量喷雾技术存在浓度调节延迟时间长、成本高的问题。而流量调节式变量喷雾技术具备对系统喷雾压力、雾化效果影响小的优点，但也存在一些不足：脉宽调制（PWM）流量调节方式对系统喷药压力的影响较小，对喷雾雾化效果影响也较小，但其在低频调节下存在喷雾状态不连续的问题，而高频调节则对电磁阀的寿命、可靠性提出了更高的要求，成本也相应提高；变量喷头和组合式喷头成本都比较高，而且组合式

喷头还存在体积大、调换喷头时有较长的延迟时间的问题。

（1）压力控制式变量喷雾技术　因为系统中的流量与压力的二次方根成正比，所以可以通过改变系统喷雾压力来改变喷雾流量。但此控制方式对流量的调节范围很小，而且由于压力的改变导致影响喷雾效果的参数也随之改变。但如果在压力控制方式下配合使用变量喷头，则可以减少由于压力改变造成的喷雾参数发生改变的不良现象。

（2）流量调节式变量喷雾技术　对流量直接调节的变量喷雾技术有 PWM 流量调节方式、喷雾泵变频控制方式以及变量喷头与组合式喷头控制方式。PWM 流量调节方式利用脉宽调制控制方式，通过控制电磁阀在变量喷药系统管路中的启闭时间和动作频率来控制系统中的药液流量。喷雾泵变频控制方式通过变频器调节电动机的频率和电压有效幅值来控制电动机的转速，从而控制喷雾泵的转速，调节喷雾流量。此控制方式可以任意改变雾滴的直径，将雾滴直径控制在 20 ~ 100μm，但是其流量控制过程与雾滴粒径调节未独立开，对喷雾效果将产生一定影响。变量喷头可以根据系统管路中压力的大小自动调节喷头出口截面面积，从而实现流量的调节，使单个喷头的流量范围有较大扩展。设计精密、同时满足良好雾化效果的变量喷头成本较高。组合式喷头控制通过不同流量喷头间的搭配组合来实现流量多级可调，但组合式喷头体积较大、成本较高，并且调换喷头时存在系统延时现象。

（3）药液浓度调节式变量喷雾技术　药液浓度调节式变量喷雾技术主要分为药剂注入式的变量喷雾技术和药剂与水并列注入式的变量喷雾技术。药剂注入式控制方式利用药泵和控制器控制化学药剂的注入量，而系统中水的流量通常是常量。该系统不必对剩余药液进行处理，减少了与农药的直接接触，而且由于系统中压力可以保持不变，因此喷头可以保证雾滴尺寸和喷雾分布方式不变。此种喷雾方法的缺点是系统从注入管路的药剂量发生改变到喷头喷出药液的浓度相应改变的时间延迟很长，将造成一定时差的误喷，从而影响喷雾效果。药剂和水并列式控制系统同时改变药剂的注入量和溶剂水的量，在一定程度上提高了喷施响应速度，但同时因增加了一套控制系统而使成本增加。

9.3　产品发展现状与趋势

9.3.1　国内情况

在我国，精确施药技术始于 20 世纪 80 年代，当时主要用遥感技术和地理信

息系统对水稻、小麦、棉花、玉米等主要农作物进行研究。20 世纪 90 年代部分成果已达到实际应用水平。根据我国农林业对病虫草害防治的要求，应用自动对靶喷雾技术、静电喷雾技术、风送喷雾技术、低量喷雾技术和均匀喷雾技术，结合光机电一体化技术、自动化控制等技术，已成功研制出各种精确植保机械的样机，投入了小批量的生产。

1. 精准对靶喷雾机

精准对靶喷雾机在我国尚处于研制阶段，已有少量试验样机，进行了推广应用。

中国农业机械化科学研究院研制的 3WZ-650 型智能化精准喷药机如图 9-1a 所示，利用 GPS 精准定位杂草的空间位置，结合机器视觉技术，给出杂草的精确位置，即输出处方图给执行机构，根据处方图给出的各变量结果，结合自身行进速度、流量和压力反馈信息，利用变频器调节电动机的频率和电压有效幅值来控制电动机的转速、喷嘴流量，达到变量施药的效果。智能对靶除草喷药机（图 9-1b）集计算机技术、图像处理技术和自动控制技术于一体，具有新一代先进、快速、可靠的杂草识别系统。智能识别系统能够检测小麦、玉米和大豆的田间杂草，并根据检测结果进行对靶精准喷药，检测精度高、喷药效果好，可节省农药 50% 左右，能够广泛应用于小麦、玉米、大豆等主要粮食作物的田间除草作业。

a) b)

图 9-1　3WZ-650 型智能化精准喷药机和智能对靶除草喷药机

中国农业大学研制的果园自动对靶喷雾机（图 9-2）3WG-350 Ⅱ应用红外靶标自动探测器和喷雾控制系统，通过对果树上、中、下三个部位的自动探测，成功地实现了对果树靶标的定向精确喷雾，有效地避免了果树间隙的无效喷雾，提高了农药的有效利用率，减少了农药浪费。利用高压静电装置使喷头喷出的雾滴

带上静电，带荷电的雾滴在电场作用下，可有效地附着在果树叶子表面，进一步提高了雾滴的有效沉积率，减少了因细小雾滴飘移造成的农药浪费和环境污染。

图 9-2　果园自动对靶喷雾机

中国农业机械化科学研究院研制的3Z-6-ZDB2型智能化自动对靶除草机（图9-3）采用旋转螺线刀辊式除草组件、平移四杆头架连接、智能化自动对行控制、自动对靶除草控制4种技术装置，通过6路CCD摄像机采集田间图像，自动识别杂草，结合速度编码器计算出的实时车速，由计算机控制系统延时发送控制信号至电磁离合器，将主传动链的动力传递给除草传动链，加速带动除草轮进行除草工作。同时，自动对行CCD摄像机采集田间图像，自动识别作物行，并计算出调节量，通过计算机控制系统控制电磁阀进行对行液压缸自动调节，并通过位移传感器组成反馈控制系统。

2. 变量喷雾机

变量喷雾机在我国尚处于研制阶段，已有少量试验样机，进行了推广试验。

图 9-3　3Z-6-ZDB2 型智能化自动对靶除草机

江苏大学在集成AgGPS132接收机、AS-RF履带式机器人和SCS450变量喷雾控制器等的基础上，研制了自主移动变量喷雾装备；提出了采用PLC控制电动比例调节阀对系统喷雾流量进行控制的新方法，构建了以电动比例调节阀为连续变流器件的连续可变量喷雾系统。华南农业大学为变量喷雾研制了实时混药装置、液位检测装置、流量检测与控制装置以及基于485总线的网络监控系统，解决了变量喷雾控制中药液精确实时计量的关键技术。

中国农业机械化科学研究院研制的3W-24-ZB3型大型智能化变量喷药机（图9-4），采用了基于作业速度实时检测的反馈式流量自动精准控制系统、喷杆折叠技术、升降及倾斜自动平衡技术、基于畸变校正的多行垄间杂草识别技术，采用图像畸变校正算法恢复图像，运用多行投影方法识别多行（8～9行）作物，

然后准确定位行间杂草，能够根据作业速度的变化自动调整喷雾量，使喷雾量满足单位面积施液量设定值的要求，实现了喷雾量的精确自动控制，有利于减少农药使用量。

图 9-4　3W-24-ZB3 型大型智能化变量喷药机

国家农业信息化工程技术研究中心研制的 3W-VRT1 型变量农药喷洒机（图 9-5a）集成了差分 GPS，可以在行驶过程中根据预先设定的喷药量、拖拉机前进速度等参数自动调整喷洒的药液量，实现农药的变量喷洒。基于杂草光谱识别的变量农药喷洒机（图 9-5b）采用近红外光谱技术，识别杂草和土壤等外部环境，实时控制电磁阀实现目标对靶喷药，可有效节省农药用量，保护土壤以及周围环境。

a)　　b)

图 9-5　3W-VRT1 型变量农药喷洒机和基于杂草光谱识别的变量农药喷洒机

3. 防飘移喷雾机

防飘移喷雾机在我国已成功产品化，仍有部分关键技术还在研究中。

江苏大学研制了一种适用于农用车车载的高效杨树静电高射远程喷雾机，采用静电喷雾、低量喷雾、气流辅助输送雾滴等先进技术，将压力雾化与风力雾化相结合，并利用风机强力气流将含药雾滴风送到高处和远处，再采用低量喷雾、静电喷雾技术，提高雾滴附着性能，减少农药流失。河北农业大学研制了风送式静电农药喷洒装置，装置主要由喷洒机和喷枪两个部分组成，对喷洒机和喷枪进

行了设计、制造和组装，并搭建了农药自动喷洒试验台。

中国农业大学研发了棉田用气流辅助喷杆式喷雾机，采用气力式喷头，且具有风机气流二次雾化功能，使该机具有较理想的雾化性能；采用风机气流辅助输送雾滴，在喷雾机喷幅内，雾滴有较好的沉积。研制的水田风送低量喷杆喷雾机（图 9-6）采用风幕式气流辅助输送技术，有效地减少了细小雾滴的飘移现象。在气流的作用下，水稻叶片产生翻动，雾滴的穿透能力得到加强，可以深入水稻中下部，对提高稻飞虱等中下部病虫害的防治效果有明显作用。采用电控喷杆折叠机构的设计，成功地解决了在通用底盘没有液压输出的条件下喷杆的自动折叠问题，避免了操作者人工折叠所需的时间消耗，提高了作业工效。

农业部南京农业机械化研究所研制的 3WD-800 型可控雾滴多功能风送低量喷雾机（图 9-7），采用高速离心雾化及强制气流输送的工作原理以及低量喷洒技术，可使细小均匀的雾滴喷至较远（或较高）的射程，达到工效高、对靶性好的要求。采用液力和风送组合喷洒方式，可以达到较大的喷洒面和较好的穿透性，折叠式长喷杆配置不同喷量的防滴喷头，进行全面喷洒作业，适用于大田作物化学除草和病虫害防治。配置高效均匀远射程喷枪，采用不同形式喷头的优化组合，以实现宽幅远射程均匀喷洒，适用于水田等的病虫害防治。

图 9-6　水田风送低量喷杆喷雾机

图 9-7　3WD-800 型可控雾滴多功能风送低量喷雾机

现代农装科技股份有限公司生产的 3WZG-3000 型高地隙自走式喷杆喷雾机（图 9-8a）采用风幕式防飘技术，雾滴穿透能力强，作物植株下部和叶子背面沉积效果好；采用高地隙自走式底盘和风幕式喷杆喷雾装置相配套，喷杆后置、可折叠与升降的总体布局设计，液压驱动与机械传动相结合，离地间隙达到 1 080mm，解决了棉花、大豆等作物生长中后期病虫害防治及化控化调药剂喷洒

的难题。3WCX200 型悬挂式超低量喷雾机采用机电液一体化技术，具有喷雾射程远、雾滴均匀、喷雾量可调、能实行超低量喷雾、机具结构紧凑、效率高、操作及维护保养方便等特点。3WQX-1300 型风幕式喷杆喷雾机（图 9-8b）是一种带有前后药液箱、与 59.7 ~ 74.6kW（80 ~ 100hp）轮式拖拉机悬挂的实用新型喷雾机新产品，具有雾滴细而均匀、防雾滴飘移性能好、机具结构紧凑、操作及维护保养方便等特点。

图 9-8　3WZG-3000 型高地隙自走式喷杆喷雾机和 3WQX-1300 型风幕式喷杆喷雾机

4. 航空喷雾机

用于航空喷雾机的精确喷雾技术国内尚处于研发阶段。

南京林业大学开发并研制了一套应用于农用飞机 Y5B 上的航空静电喷雾系统，对航空静电喷雾过程中雾滴的雾化过程、荷电过程、输送过程和沉积过程进行了基础理论分析和测试研究。农业部南京农业机械化研究所研制的超低空航空施药装备（图 9-9）是一种农用超低空轻型直升机及低量施药装备，具有作业高度低，飘移少；无需专用起降机场；旋翼产生的向下气流有助于提高雾流对作物的穿透性，防治效果好；远距离遥控操作，避免农药对作业人员的危害等诸多优点。同时，采用无人驾驶自动导航低空施药技术，将现代航空技术、GPS 导航技术、GIS 技术及数字信息技术相结合，实现了喷幅精确对接，避免了漏喷与重喷。

图 9-9　超低空航空施药装备

9.3.2 国外情况

从20世纪90年代开始，美国、欧洲的发达国家已经开始了面向农林生产的农药精确喷施技术的系统研究和测试，而且这一研究随着机电液一体化技术、信息技术和自动控制技术的发展，至今长盛不衰，已有部分商品化精量植保机械供应市场。美国的约翰迪尔公司和凯斯纽荷兰公司、丹麦的哈地公司、德国的霍德（Holder）公司等生产的一些大中型喷药机可以变量喷药，其上装备的控制器都备有GPS和GIS或计算机接口。在一些大型自走式喷药机上都装备有GPS自动导航驾驶设备和变量喷药设备等。目前美国一半以上的大农场已经开始使用这些设备。

总体上，国外精量植保机械的主要特点为：GPS技术被普遍应用；传统的机械传动、控制已被液压传动、电气传动和控制所替代；采用计算机监测、控制系统，机具作业中的压力、喷量、行进速度、药箱中药液余量等参数均可在计算机屏幕上显示，并被自动控制或由操作者通过仪表面板来操作控制；自走式机具大多采用四轮驱动，机动灵活；气流防飘移技术用于喷杆喷雾机已屡见不鲜；普遍使用农药注入系统；快速接头、快速转换喷头、防滴阀、自洁式过滤器、组合式控制阀等先进技术已被广泛采用。

1. 精准对靶喷雾机

精准对靶喷雾机的最关键技术是靶标传感，国外已经开发了基于光电的杂草传感器和基于机器视觉的作物行传感器产品，约翰迪尔、凯斯纽荷兰、克拉斯（Class）等公司的精准喷雾机上已配备了这些传感器，进行精准对靶喷雾或机械除草。

美国的耐特（NTech）公司已经成功开发了WeedSeeker喷雾系统（图9-10），其由叶色素光学传感器、控制电路和阀体组成，传感器发射770nm近红

图9-10 美国NTech公司的WeedSeeker喷雾系统

外光和 656nm 红光检测土壤背景中的杂草。该系统的核心部分是 phD600，阀体内含有喷头和电磁阀，当传感器通过检测叶色素判定有草存在时，即控制喷头对准目标喷洒除草剂。WeedSeeker 喷雾系统是已装备到喷药机械上的实用产品，适用于实时对靶喷药，用于行间、沟旁、道路两侧喷洒除草剂，可节省农药 60% ~80%。

英国的卡福特（Garford）公司已经成功开发了 Robocrop 视觉导航系统，其由 Robocrop 控制器、液压侧移装置、三点连接架、成像摄像机、轮速传感器、工作状态传感器组成，能高速、精准地识别行间杂草（Inter-row Weeds）和行内杂草（Intra-row Weeds）。Robocrop2 机械除草机（图 9-11）和 Robocrop InRow 机械除草机（图 9-12）于 2010 年实现商品化的。Robocrop2 机械除草机可精准识别作物行信息，用独特的具有 A 型犁头的若干 S 型尖叉去除行间杂草。Robocrop InRow 机械除草机根据作物之间具有一定的株距且生长基本一致的特点，采用一定的算法识别作物植株，无论作物植株附近有无杂草，都用独特的锄头沿作物植株四周进行除草动作，除草机的处理速度为每行每秒 2 株作物，杂草控制率达到了 98%。但是，Robocrop InRow 作业时要求株距较大（不小于 20cm），限制了其使用范围。

图 9-11　卡福特公司的 Robocrop2 机械除草机

图 9-12　卡福特公司的 Robocrop InRow 机械除草机

德国克瑞斯（Kress）公司的 Autopilot 视觉导航系统由计算机和摄像头、带有电磁阀的液压缸、带有 LCD 显示屏的控制器三部分组成，能精准识别作物行并调整转向盘。Autopilot 是单目视觉系统，作物行中心线的定位精度达到了 ±1cm。安装有 Autopilot 的机械除草机 KRESS-Finger weeder 和 KRESS Cage Weeder 使用手型和笼型的机械手，精准对靶去除行间距大于 20cm 的作物的行间杂草，如图 9-13 所示。

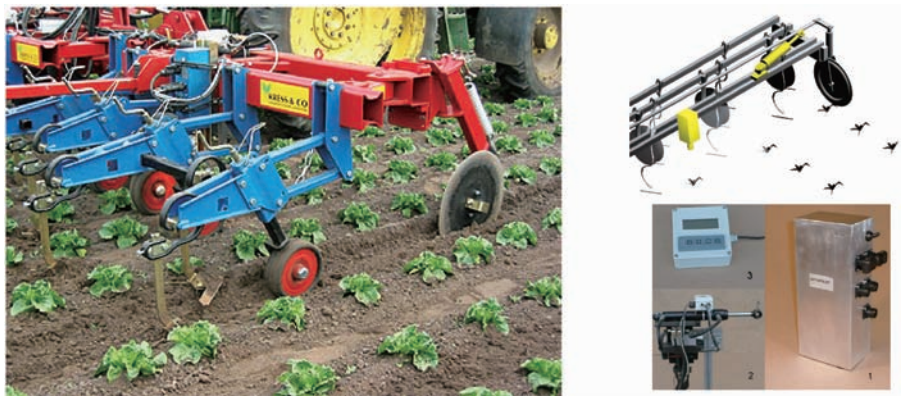


图 9-13　德国克瑞斯公司的机械除草机和 Autopilot 视觉导航系统

英国克拉斯公司的 Cam Pilot 视觉导航系统是双目视觉系统，导航精度达到了 2 ~ 3cm，也安装在中耕除草机上，进行精准的行间杂草防除，如图 9-14 所示。

图 9-14　英国克拉斯公司的精准对行除草机和 Cam Pilot 视觉导航系统

加拿大的诺瑞克（Norac）公司生产的 UC5™ 喷杆高度控制系统（图 9-15）由超声波传感器、摆动传感器、交互电缆、比例阀套件、虚拟终端、显示器等组成，能自动保持预先设定的喷杆对地高度或者对作物的高度。超声波传感器能识

图 9-15　加拿大的诺瑞克（Norac）公司生产的 UC5™喷杆高度控制系统

别土壤、直立作物和田间残渣，不需要光照就能监测喷杆的高度。约翰迪尔、凯斯纽荷兰等公司生产的喷雾机上已装备了 UC5™系统，以更有效地施用农药，减轻驾驶员的压力和疲劳，避免喷杆损坏和停机时间，进行精准和平稳喷雾。

图 9-16　美国的先进生产者技术公司生产的对靶喷雾机

美国的先进生产者技术（Progressive Grower Technologies）公司生产的对靶喷雾机（图 9-16）从左右进行单行喷雾，喷雾机宽 9.75m（32ft），能喷洒两行作物。

2. 变量喷雾机

约翰迪尔、农业领航者（Ag Leader）等公司已开发了基于处方图的变量喷雾机，主要组成部分包括 DGPS 接收器、VRT 控制器和软件、反馈控制回路等，如图 9-17 所示。

天宝（Trimble）公司的 Field-IQ™作物输入控制系统是一个组件式的区域控制和变量控制系统，喷洒量可以人工输入也可以由处方图给定，能精准监控喷雾作业，避免重喷，如图 9-18 所示。

约翰迪尔公司开发了配备在 ISOBUS 喷雾机上的相关配件，包括 VRA 软件、GreenStar 2630 ISOBUS 显示屏、StarFire 3000 接收器，可以按照处方图进行变量喷雾作业，如图 9-19 所示。

Ag Leader 公司开发的 DirectCommand 变量控制系统（图 9-20）利用流量计

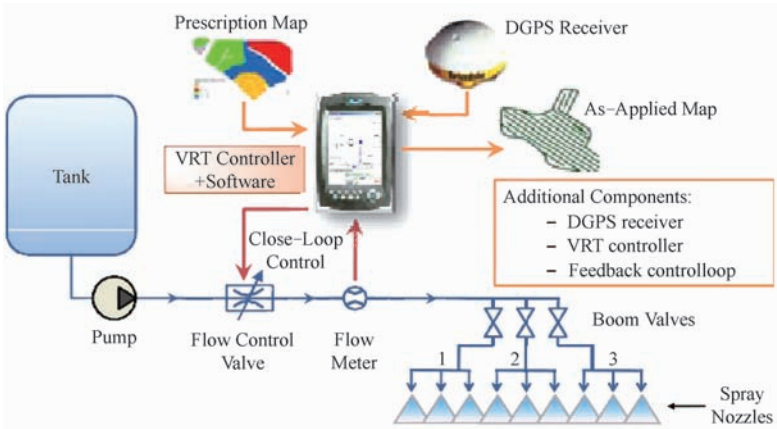


图 9-17　变量喷雾机的构成图

图 9-18　天宝公司的变量喷雾机及其 Field-IQ™ 作物输入控制系统

图 9-19　约翰迪尔公司的 ISOBUS 喷雾机及其配件

信号和雷达油门或者 GPS 接收器的速度信号，能根据人工设定或者变量处方图给定的施药量连续控制、调节和记录液体或颗粒固体的施用量，配备在喷雾机上进行基于处方图的变量喷雾，还能避免重喷、漏喷。

图 9-20　Ag Leader 公司开发的 DirectCommand 变量控制系统

凯斯纽荷兰公司生产了 Patriot™ 系列喷雾机和 PS 系列拖挂型精准喷雾机（图 9-21），采用独特的喷杆吊架系统，精准控制系统由地速传感器、压力监测装置、喷杆控制装置、喷雾机应用模块、物料控制和物理监测装置等组成，再结合 AgGPS FieldManager™ 显示器，进行精准喷雾。

图 9-21　凯斯纽荷兰公司的 PS 系列拖挂型精准喷雾机

法姆思科（Farmscan）公司开发的 Farmlap 喷雾控制系统具有自动喷杆开关和双喷雾线，与 Farmlap 导航系统和自动驾驶系统一起进行变量喷雾控制。拓普康（Topcon）精准农业公司的 X20 喷雾控制系统是一台单机控制器，能产生实时的作业图，兼容大多数变量控制器，能同时控制 3 个药箱，双线喷杆控制 30 组喷头，如图 9-22 所示。

图 9-22　Farmlap 喷雾控制系统和 X20 喷雾控制系统

3. 防飘移喷雾机

欧美国家在防止雾滴的飘移方面采用了少飘或防飘喷头、风幕技术、静电喷雾技术及雾滴回收技术等。美国的有关数据表明，使用静电喷雾技术可减少药液损失达 65% 以上。但该项技术应用到产品上尚未完全成熟，成本过高，目前只在少量的植保机械上采用。风幕式气流防飘移技术于 20 世纪 90 年代初在欧洲兴起，目前的发展趋势是使用新技术和材料使风幕系统在不降低性能的情况下更加轻型化。世界上一些著名的植保机械制造商如丹麦的哈地（Hardi）公司、德国的劳（RAU）公司、法国的泰克诺玛（Tecnoma）公司、意大利的克米特（Comet）公司等都在生产多种风幕式喷雾机。由于风幕式气流防飘移技术使机具的成本增加较多，喷杆的悬挂和折叠机构更加复杂，所以目前欧美一些植保机械厂家又开发了空气射流喷头等新型防飘移喷头。另外，还有在喷头外面增加防风罩等方法，阻止作业时雾滴的飘移。隧道式循环喷雾机的研制开始于 20 世纪 70 年代，主要集中于欧美等地区的发达国家，目前市场上比较常见的有利普克（LIPCO）公司和蒙克霍夫（Munckhof）公司生产的各种型号的隧道式循环喷雾机。隧道式循环喷雾机发展至今，研究的重点主要集中在雾滴沉积特性、药液损失、药液回收率和生物防治效果等方面。

哈地公司的 TWIN FORCE 或 TWIN STREAM 风助装置已广泛应用在牵引式和自走式喷雾机上。新一代 COMMANDER 牵引风助式喷雾机采用轴流式风扇提供风力，液力调控风帘和喷嘴角度，在向前 30°和向后 40°的范围内无级变换，最大限度地减少飘移，从而使雾滴中靶。当前进速度提高时，风助风速可随之提高以保证雾滴均匀分布在目标上，喷雾量可减少 50% 以上，如图 9-23 所示。

美国 ESS 公司生产的静电喷雾机系列（图 9-24）包括用于农业的有行作物喷雾机、葡萄园喷雾机、果园喷雾机、窄行作物喷雾机、温室喷雾机等。这些喷

图 9-23　哈地公司的 COMMANDER 牵引风助式喷雾机

雾机都采用了专利 MaxCharge™ 的风助静电喷雾喷嘴，雾滴覆盖率能达到 25% ~50%。

图 9-24　美国 ESS 公司生产的静电喷雾机系列

美国静电喷雾机（Spectrum Electrostatic Sprayers）公司是静电喷雾机的开发、设计和制造公司，世界首家成功实现静电风助的果园和温室喷雾机、农用飞机上的静电喷雾系统商品化，已开发了一系列的静电喷雾机，如图 9-25 所示

图 9-25　美国静电喷雾机公司的静电喷雾机

巴西杰克托（JACTO）公司生产的 FALCON VORTEX HORTI 风幕式喷杆喷雾机（图 9-26）采用风幕式防飘技术，即使在风力大于三级的天气里也能保证连续安全作业，减少飘移损失，另外该机还有低量喷雾、药液穿透性好、作物表面有效附着率高的特点。

图 9-26　杰克托公司生产的 FALCON VORTEX HORTI 风幕式喷杆喷雾机

Jacto PH 400 SA 悬挂式罩盖喷雾机（图 9-27）适合于在果园、草坪、葡萄园等地喷洒各种除草剂和杀虫剂，应用罩盖技术可以节约施药量，实现精确喷雾。药箱容量为 477L，喷幅 1.5～3.65m 可调，采用陶瓷柱塞泵和 4 路快速卸压阀，带有安装喷枪的支架，配套动力≥21.9kW。

LIPCO 公司生产的针对果树作业的隧道式循环喷雾机（图 9-28）多为无风送喷雾系统，当果树的冠层密度小时，如葡萄，施药时多采用无风送喷施系统；当对矮化苹果等冠层较大的果树施药时多采用风送喷雾系统，风机产生的风携带雾滴穿透果树冠层，并且扰动树叶，使雾滴能够沉积到树叶的正反两面。可减少 90% 以上的飘移，循环使用 30%～35% 的药液。其为环保节约型喷雾机，并且在有风的天气也可

图 9-27　Jacto PH 400 SA 悬挂式罩盖喷雾机

图 9-28　LIPCO 公司的隧道式循环喷雾机

喷雾作业。

4. 航空喷雾机

航空施药是欧美国家最主要的植保手段，除了传统的在轻型飞机上安装喷雾系统以外，专业植保飞机也发展起来，作业的飞机主要有固定翼型和旋翼型两种。欧美国家的种植规模较大，所以主要用固定翼型飞机；日本等国家的种植规模较小，以旋翼型飞机为主。国外的航空喷雾机上已普遍安装了 GPS，可以按照处方图进行精准航空喷雾。但是，喷出的雾流受气流影响大，对靶性差，部分细小的雾滴可飘移至数千米以外，造成污染。当飞机拐弯或处于非靶标区时，“拖尾巴”现象屡见不鲜。

美国空中拖拉机（Air Tractor）公司是世界农业飞机的主要制造商，生产 AT 系列的农用飞机，药箱容量为 1 514 ~ 3 028L，采用变量 GPS 技术，在农用飞机上配备 GPS 和流量控制系统，进行基于处方图的变量喷药，如图 9-29 所示。

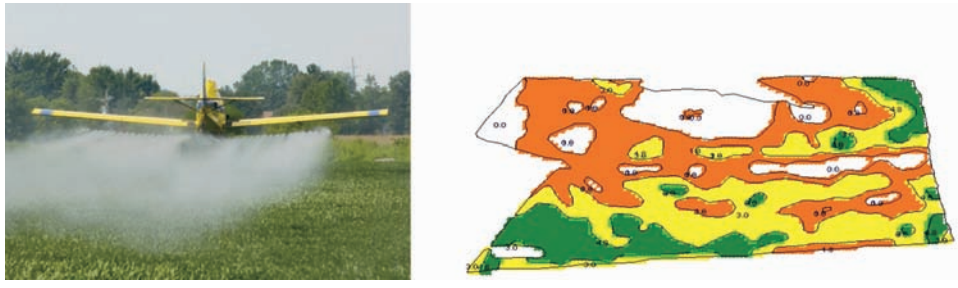


图 9-29　空中拖拉机公司的 AT 系列农用飞机及喷雾处方图

新西兰的 PHL 公司在直升机上配备了 Trimble GPS、喷杆喷雾装置或者定点喷雾装置，能根据处方图精准喷药或者定点喷药，如图 9-30 所示。

美国的北极星直升机（North Star Helicopters）公司生产的 OH-58 系列直升

图 9-30　PHL 公司的定点喷药直升机和精准喷药直升机

机能负载 378L（100USgal）以上的药液，装备有液压喷雾系统、变量控制系统、三段式喷杆、Trimble TrimFlight 3 GPS，进行基于处方图的变量喷雾作业，如图 9-31 所示。

图 9-31　北极星直升机公司生产的 OH-58 系列直升机及其配件

9.4　存在的问题分析

20 世纪 50 年代以来，国际上农药使用技术不断改进、完善，为了减少环境污染，大量应用低量（LV）、超低量（ULV）、控滴喷雾（CDA）、循环喷雾（RS）、反飘喷雾（AS）等一系列新技术、新机具，施药量大大降低，农药的利用效率和工效大幅度提高。但在我国的农户农业上，至今仍有很大一部分沿用 20 世纪 50 年代的大量淋雨式喷雾法，甚至还推行“水唧筒”“喷雨”“泼浇”

等落后方法，使农药大量落入农田中，有效利用率只有 20% 左右，既浪费了农药，又污染了环境。

当前我国机械施药技术存在的主要问题有以下几个方面：

1）农药有效利用率低，大量农药飘移流失，环境污染严重。发达国家农药利用率在 50% 左右，而我国现有植保机具和施药技术的农药有效利用效率最高的也不足 30%，农药的流失量高达 60% ~70%。

2）植保机械产品技术水平低，专用化、系列化程度不高。我国约 70% 的产品技术水平仅相当于国际 20 世纪 60—70 年代的水平，只有约 10% 的产品能够达国际 20 世纪 80 年代末 90 年代初的技术水平。目前，我国植保机械种类较少，产品单一，专用植保机械还没有发展起来，大多利用同一机具进行多种不同的施药作业。特别值得注意的是，所有这些机械使用的喷头只有有限的几种，用几种喷头去处理数以千计的不同类型的农作物和数以千计的各种不同的病、虫、草害，这样的技术水平远远不能满足现代社会的需要。

3）农药与施药机械的研究相分离，缺乏有机结合。农药的使用已发展成为一门高度综合性的农药应用工艺学。农药使用问题已经不是单纯的农药品种和喷洒手段问题，而是涉及农药制剂、喷洒机具、施药方法、农药行为、生物行为、毒理学、气象学以及环境科学各方面的综合性科学技术。化学防治水平的提高和植保机械的研究发展也有赖于农药应用工艺学的发展，并反过来又促进农药应用工艺学的进一步发展和提高。长期以来，我国农药剂型和施药机具的研究互相分离，“研究药的不懂机具，研究机具的不懂药”，没有形成农药与施药机具的有机结合。

4）没有完整的机械施药技术规范体系。我国当前机械施药技术规范混乱短缺，农民缺乏规范的施药方法指导，一般根据农药使用手册中规定的农田面积用药量进行喷施。而现代施药技术则要求在单位作物面积上喷上防治所需的药量。规范用户根据作物的生长发育阶段和病虫种群密度，选用喷雾器械种类、农药剂型和喷雾方法。

我国植保机械与发达国家相比，在技术水平、产品品种、制造质量、可靠性等方面均有较大差距，植保机械的发展趋势是重点发展低量、低污染与高效精确施药技术以及小型机动的精确植保机械产品，同时要重视研发大中型精确植保机械设备。着重研发封闭式注药和混药、自动对靶选择性喷雾与静电喷雾、自动控制等新技术，开发出多种先进适用的精确植保机械，既有效控制病虫草害，保障

农林业生产安全，又保护生态环境和自然资源，实现植物保护、环境保护和资源管理的协调发展。

9.5 产业技术发展思路与规划

9.5.1 发展思路与规划

我国植保机械发展总的趋势是：由小型化向大中型逐步发展，并不断推出适用、先进、节能、高效、安全、低喷量、低污染的精确植保机械系列新产品。

加强植保机械的研发，加速改进施药机具，逐步更新换代已经沿用了近半个多世纪的老式施药机具。根据我国大型机动喷雾机具虽有一定数量增长，但仍以小型手动喷雾机具为主的国情，国家应加大科研投入，开展植保机械换代产品研究，达到植物病、草、虫害防治的高度机械化和“四化”，即统防统治专业化、施药行为规范法律化、施药器械现代化和防治指标国际化。

9.5.2 技术研发和产业化发展方向

精确植保机械的核心技术主要集中于自动识别、喷雾系统的智能控制等与计算机技术、自动化技术相关的高新技术领域，主要包括以下内容：

1）低量喷雾技术研究，重点研究雾化原理及部件的性能与结构参数，进一步完善设计方法。

2）雾滴防飘移技术研究，重点研究影响雾滴飘移的主要因素，探讨防止雾滴飘移的主要方法。继续加强对静电喷雾技术的研究，力争在十年内推出实用产品，广泛用于机动弥雾机、喷杆喷雾机、果园弥雾机和航空喷雾设备上。研制喷杆喷雾机用防飘喷头。

3）对靶喷雾技术研究，重点研究传感元件、信号器喷雾设备控制系统的技术、图像采集与数据处理技术等。

4）精量喷雾和机电一体化技术研究，研制植保机械专用流量传感器、压力传感器、电子分配阀及控制显示系统，重点研究喷雾量精确控制技术，积极开发适应我国国情的 GPS 控制的精量施药系统。

5）测试技术与设备研究，重点研究植保机械主要工作部件及整机的室内性能测试技术与设备，整机田间作业时的喷洒质量测试技术与检测设备，不断提高我国植保机械的研究测试水平。

6）我国航空施药机具的发展方向是：研制先进的喷洒部件和控制部件，应用3S技术进行病、虫、草害的预测预报和飞机作业时的导航，飞机机型应以旋翼机为主，充分利用旋翼机产生的下压气流，避免雾滴的飘移，有利于雾滴穿透植被，提高雾滴的附着率。

精确植保机械的发展应紧紧围绕“适用、先进、节能、高效、安全、低喷量和低污染”的目标，着力突破低量喷雾、防飘移、对靶喷雾、变量喷雾技术和机电一体化技术及测试技术与设备的研究等。精确植保机械的产业化发展方向如下：

1）系列化、多样化。目前我国植保机械的系列化程度较低，为适应不同区域、不同农业生产形式、不同环境的要求，急需开发系列化、多样化的植保机械，以满足市场需求。

2）先进性、实用性和经济性相协调。我国植保机械产品的发展，在应用各种先进技术、提高产品技术水平的同时，要注重与产品实用性和经济性的统一，通过新材料、新工艺的应用，降低产品成本，使先进的产品为广大农民所接受，能够用得起，用得会。

3）环保化。植保机械必然要向减少和避免污染的方向发展。静电喷雾技术、封闭式注药和混药技术、自动对靶选择性喷雾与自动控制等新技术将逐步在植保机械产品中得到应用。

4）智能化。随着计算机技术和3S技术的广泛应用，植保机械也将向自动化、智能化方向发展。随着病、虫、草害实时快速检测与识别技术、喷雾量自动精确控制技术等高新技术的应用，植保机械所追求的定位施药、定量施药的精准智能化施药目标的实现已经成为可能。

精确植保机械的开发与应用，我国才刚刚起步，与发达国家的差距很大。学习借鉴国外先进技术，开展技术创新，加紧开发适合我国国情的精确植保机械任重而道远。

1）加强基础性研究。研究施药时小雾滴运动规律与作物冠层内外气象因子的相关性，如风速、温湿度对雾滴运动的影响规律，进而可指导新型喷雾机的设计与研制。雾滴在作物上的沉积与飘失相关，对喷雾过程中药液雾滴的飘失控制进行研究，可提高农药的利用率和施药的安全性，目前国际上采用了多项防飘技术。光机电液一体化技术已成为植保机械不可缺少的部分。其中对更进一步的精确喷雾和智能喷雾技术，如传感元件、信号采集及数据处理、建立作物和病虫草

害数据库等的基础研究应着手进行，已开展研究的应进一步加大力度。

2）开展应用性研究。根据我国地貌地形、不同农业区域的特点，研究开发适用于平原地区、水网地区、旱原区及高山梯田区，能满足不同农作物和病虫草害防治的各种专用高效精确植保机械，走专业化、标准化、智能化的道路，如葡萄园专用精确喷雾机、苹果园专用精确喷雾机、水稻专用精确喷雾机、蔬菜专用精确喷雾机等，形成我国精确植保机械产品系列。

9.5.3 政策建议

（1）统一思想，提高认识　加强宣传、培训和教育，加深和强化精量植保机械在实施化学防治、保障粮食安全中的重要战略地位和作用，以及与农药、施药技术三者之间的辩证关系，与化学防治效果、农药使用效率、农药有效利用率、农药残留量、农产品质量安全和国际贸易以及环境污染等一系列重大问题的密切相关性的认识和理解，切实将加速精量植保机械的研发与应用作为实施农业标准化和产业化发展战略的重要内容和举措列上议事日程，纳入科学化发展的轨道。

（2）因地制宜，科学制定发展策略和路径　我国不应盲目、简单、大规模地引进国外先进而昂贵的大中型精量植保机械，而需因地制宜，循序渐进，科学发展，按照“自主创新、市场急需、重点突破、持续提高、发挥效能”的基本思路，走中国特色的植保机械的精确化道路。大力发展适于果园、水田、保护地蔬菜和生物农药等不同作物、不同病虫草害、不同类型农药以及不同地区、不同生态环境应用的各类专业高效精确施药器械等。

（3）强化科研，增强自主创新能力　针对精量植保机械和装备具有的社会公益性或准公益性属性等特点，进一步加大公共财政投入和资助力度，重点支持基础性研究、关键和核心技术研究与攻关等。通过建立税收激励机制、制订税收优惠等政策，积极鼓励和引导植保机械大中型企业加大对自身研发和创新人才、资金等的投入，增强自主创新能力，并逐渐向科技主体转换。深化科研体制改革，促进“产、学、研”的有机结合，提高整体创新能力。加强人才队伍建设与国际合作与交流，适当引进国外先进技术和设备，实现引进、消化、吸收再创新和集成创新。

（4）加强监督和管理，确保产品质量　精量植保机械专业性强并具有特殊性，应尽快建立以植保部门为主导的多部门参与并协调配合的监管体系和机制，大力整顿生产企业，加强标准的制订和修订，严把生产环节关。

第 10 章　节水灌溉机械

10.1　概述

节水灌溉机械是一类用于农业灌溉的装备，这类灌溉设备通常具备节水功能，是农业机械的重要组成部分。一般节水灌溉机械涉及多种机械设备，比如农业水泵等提水系统设备、各类喷头和微灌与滴灌等灌水器系统、管件等输水系统设施等。节水灌溉机械作为重要的农业机械，在节约水资源、实现农业现代化、建设小康社会、促进可持续发展等方面发挥着重要作用。

目前，水资源短缺是制约经济和社会发展的关键因素，节约水资源对于国民经济的发展具有重要意义。农业用水一直以来占全国用水量之首。据水利部门 2012 年统计，2011 年农业用水量 3 743.6 亿 m^3，占全国用水量的 61.3%。其中，农田灌溉耗水量 2 094.6 亿 m^3，占农业总用水量的 54.8%。我国的农业灌溉水利用系数较低，远远低于以色列、美国等国家。因此，农业节水是缓解水资源短缺的有效的、必然的途径。2011 年中央一号文件《关于加快水利改革发展的决定》明确指出："大力发展节水灌溉，推广渠道防渗、管道输水、喷灌滴灌等技术，扩大节水、抗旱设备补贴范围""稳步发展牧区水利，建设节水高效灌溉饲草料地"。该文件还指出："加快实施节水技术改造，全面加强企业节水管理，建设节水示范工程，普及农业高效节水技术"。农业灌溉作为用水大户，节水潜力很大。缓解水资源短缺的有效出路就是发展节水农业，实施节水灌溉，改变长期以来大水漫灌的灌溉方式，大力开发与推广节水灌溉技术，把浇地变为浇作物，按作物最佳需水要求进行灌溉，最大限度地提高用水效率。

据有关部门统计，截至 2010 年，全国有效灌溉面积为 59 261.45 $\times 10^3 hm^2$，机电排灌面积为 40 016.33 $\times 10^3 hm^2$，占有效灌溉面积的 67.5%。节水灌溉面积为 25 755.11 $\times 10^3 hm^2$，占有效灌溉面积的 43.5%，占机电排灌面积的 64.4%。其中，喷滴灌面积为 2 926.71 $\times 10^3 hm^2$，微灌面积为 1 669.27 $\times 10^3 hm^2$，分别占节水灌溉总面积的 11.4% 和 6.5%。由此可见，农业节水潜力巨大。在多项节水

措施中，节水灌溉机械是农业节水的重要举措，同时节水灌溉机械是农业机械中重要的一类。喷灌和微灌技术就是为解决水资源不足，提高灌溉效率而发展起来的灌溉技术之一。因此，大力发展节水灌溉机械是节约水资源、社会可持续发展的必然要求。

随着农业各方面的发展，节水灌溉机械也在为满足日益发展的农业生产要求不断改进。从目前国内外农业发展形势来看，未来农业发展主要有以下几个方向：

（1）可持续发展农业与生态农业　现代农业和未来农业应不仅可以满足人们日常生产、生活的需求，而且应在保障农业生产的情况下，构建良好的农业生态环境，实现人类与自然环境的和谐、持续发展。只有坚持走节水道路，才能处理好农业生产与人口增长、工业崛起、自然生态环境可持续等多方面的矛盾，使之协调发展。

（2）农业生产的产业化和规模化　随着人口日益增长，农副产品作为原材料向工业供应等方面的开展，提高劳动生产率、产量等是现在农业、经济、社会等各方面发展的必然要求。农业生产的产业化和规模化就是在成片集中的土地上采用先进的农业生产技术，运用高效的农业机械进行耕作。它不仅可以提高农业的劳动生产率，在一定的生产投入的前提下，降低单位土地面积的生产成本，提高产量，使农产品的价格具有市场竞争优势，而且还可以带动诸如运输、农机制造、维修服务、仓储烘干等一系列相关产业的发展，形成大农业的发展局面。

（3）农业生产的设施化　我国各地区土壤类型、气候条件、作物种植等差别非常显著，因此各地作物收获受自然条件的限制严重，各方面基础建设较弱，抵御干旱、洪灾等自然灾害的能力较差，开展农业的设施化生产对于缓解上述情况具有重要意义。在我国一些经济发达且土地资源缺乏的城市和地区已经建立了一些高科技含量、高投入的设施农业，且已取得了可喜的成就。农业专家们经过精心设计，把农场式农业生产改造成农业公园，集农业种植、绿化环境、观光旅游等为一体，劳动也将成为一项愉快的工作。为了解决早春寒冷的问题，采用塑料大棚进行水稻育秧，采用日光温室生产蔬菜、花卉苗木等。为了解决间断性干旱问题，许多农场早已配备了喷灌、滴灌机械设备等。

（4）农业生产的机械化和自动化　农业生产产业化和规模化的必要条件就是加快农业生产的机械化和自动化。大范围的农业机械化作业显著提高了农业生产效率，同时实现农业生产的自动化不仅使农业生产劳动强度极大下降，而且也

可以解放更多的劳动者从事其他职业，加快经济建设，还可以利用电子计算机智能化管理模块系统使农业现代化管理迈上新的台阶。未来农业发展的最高水平，应是高度的自动化和精确化，发达国家的成功经验已为我们指明了发展方向。

（5）农业的精准化　党的十七届三中全会指出“农业发展的根本出路在科技进步”，提出为了适应“农业规模化、精准化、设施化等要求，加快开发多功能、智能化、经济型农业机械设施，重点在田间作业、设施栽培、健康养殖、精深加工、储运保鲜等环节取得新进展”。提出“发展现代农业，必须按照高产、优质、高效、生态、安全的要求，加快转变农业发展方式，推进农业科技进步和创新”。强调“支持农用工业发展，加快推进农业机械化”。

精准农业技术实际上就是一种以信息为基础的农业管理系统。它利用传感器及监测技术可以方便、准确、及时、完整地获得当时土地的必要数据，再根据各因素在控制作物生长中的作用及其相互关系，迅速作出恰当的管理决策，进而控制对作物的投入和作业。对于大面积的土地决策，用卫星或飞机遥测、遥感图像技术可能更经济适用。精准农业技术是现代信息技术、生物技术、工程技术等一系列高新技术在最新成果的基础上发展起来的一种重要的现代农业生产技术。它约由 10 个系统组成，即全球定位系统（GPS）、农田信息采集系统、农田遥感监测系统（RS）、农田地理信息系统（GIS）、农业专家系统、智能化农机具系统、环境监测系统、系统集成、网络化管理系统和培训系统。其核心是 3S 技术和计算机自动控制系统。

以上是未来农业发展的主要方向，也喻示着节水灌溉机械将朝着大型化、自动化、精准化的方向发展，使得农业灌溉系统更加趋于智能化。

本章旨在通过深度分析国内、国外节水灌溉机械行业的发展概况，结合先进技术和国家需求提出节水灌溉机械行业发展方向，根据我国节水灌溉机械行业发展和企业现状指明行业整体发展目标、地区发展目标、龙头企业发展目标，并对规模企业扩大规模、发展配套产业、新兴企业发展走势以及政府资本、民间资本进入提出导向性建议，帮助社会各界充分认识发展节水灌溉机械产业的重要性，吸引投资，并帮助政府和有关部门制订促进节水灌溉机械产业发展的相关政策和法规。为制订智能节水灌溉机械产业发展指标，我们必须立足具有全球视野，对节水灌溉机械范围内的产业链形态进行分析，此外对欧美发达国家当前的技术水平和战略部署进行了分析，从而为我国节水灌溉机械产业未来发展提供具有现实性和可操作性的指导建议。

10.2 国内外生产情况

10.2.1 国内情况

1. 主要产品

（1）农用水泵　在农田水利领域，以水泵为核心的机电排灌工程有力地保障了我国农业生产的正常进行。据水利部 2009 年的统计，全国机电灌排装机容量达 4 517 万 kW，全国机电排灌总面积约 40 000 亿 m^2（60 亿亩），其中固定式机电排灌站 44.6 万处，固定式机电排灌泵站装机容量达 2 447 万 kW，这些机电排灌站提高了各地农业抵御自然灾害的能力，对于保障我国粮食安全具有重要作用。

农业灌溉使用的泵型主要有离心泵、轴流泵、混流泵、斜流泵、贯流泵、潜水电泵、自吸泵、井用潜水泵、长轴深井泵等。经过多年发展，国内水泵产品的品种、型号、规格较为齐全，与国外同类产品相近。特别是日常农业用泵的水平和国际持平。比如农业灌溉常用的 IS 离心泵、S 型双吸离心泵、ZL 轴流泵、QJ 型井用潜水泵等，都是常用的、技术成熟产品，这些产品规格多样，能适用于多种复杂环境。这些产品不仅满足了国内需求，同时也大量出口。

（2）喷灌设备　据相关部门记载，我国喷灌技术于 1954 年引进，并对所引进的喷灌设备进行推广和进一步研发，逐渐形成了适用于我国的新产品，比如多个系列的喷头产品和喷灌机组等。国内目前的喷灌设备产品种类繁多，主要有各类喷灌机、喷头、管件等。在喷灌设备中，喷头为最核心的部件，目前国内生产的有摇臂式喷头、全射流喷头等。其中，ZY 型金属摇臂式喷头是国内大田灌溉所使用的主流产品，该系列喷头首先引进于奥地利保尔公司，而后经过我国技术人员的消化吸收并进行改进研发推出；全射流喷头则是我国发明的产品。这些喷头产品经过多年使用、改进已经较为成熟。

喷灌机组作为喷灌设备的集成产品在全世界的农业中应用广泛。目前国内的喷灌机组产品主要有圆形指针式喷灌机、平移式喷灌机、卷盘式喷灌机等，这些产品和国外同类产品的水平基本相当。

（3）微灌设备　微灌设备产品是以塑料为主要材料的低压节能节水灌溉设备，主要由滴灌管、滴灌带、过滤器、微喷头、滴头等构成。我国的微灌技术同样是首先对国外产品进行引进、消化、吸收，然后进行改进研发推广。自 20 世

纪 70—80 年代以来，我国开发了一系列产品，并不断改进、创新。经过 30 多年的发展，微灌产品门类和系列基本配套，形成了以灌水器、管材与管件、净化过滤设备、施肥设备、控制及安全装置五大类为主的产品结构，具有品种规格多样化、系列化的特点。

2. 产业结构

对于水泵产品来说，自新中国成立以来，水泵行业经过长时间发展，目前已经形成了具有相当规模的水泵生产制造业，同时也形成了致力于水泵学科研究的科研队伍，我国农用水泵的设计制造能力已基本与国外知名企业相当。经济与社会发展对水利、机械、化工等行业用水泵要求的提高，对水泵设计、制造等方面具有深远影响。全国水泵企业有数千家，水泵种类、型号等比较齐全，规格完善。比如山东博泵有限公司生产的 IS 离心泵、山西天海泵业有限公司生产的井用潜水泵等在我国农业方面具有广泛应用，并且远销海外。还有许多水泵企业的产品覆盖工农等行业，比如上海凯泉、上海连成、无锡水泵厂等。由于我国水泵市场潜力巨大，一些国外企业纷纷来我国投资建厂，比如德国凯士比公司（KSB）、日本荏原公司（EBARA）、美国 ITT 公司、瑞士苏尔寿公司等。粗略估算我国水泵制造企业有 2 000 余家，水泵产量超过 3 700 万台。“十一五”期间，按 138 家会员企业统计累计完成工业总产值 1 461.1 亿元，比“十五”期间增长 203%。完成销售收入 4 029.1 亿元，同比增长 781%；其中东北地区占 23.4%，华北地区占 10.2%，华东地区占 45.6%，中南地区占 14.8%，西南地区占 3.3%，西北地区占 2.7%。

对于喷灌和微灌产品来说，目前我国高效节水灌溉设备生产企业主要分布在华北、东北、西北和东南沿海地区。新疆维吾尔自治区集中了较多的滴灌设备生产企业，江苏、浙江、山西、河北等省集中了较多的喷灌设备生产企业。据不完全统计，截至 2008 年年底，在我国境内从事高效节水灌溉设备制造、产品经营、高效节水灌溉工程建设和技术服务的企业已逾千家（包括境外企业在中国的代表机构和独资或合资企业），其中制造类企业约占总数的一半。但具备一定的生产和技术规模、其产品和产值能够对高效节水灌溉行业产生影响的制造类企业（以下称规模以上生产企业）约占制造类企业总数的 60%。

另据中国水利企业协会灌排设备企业分会统计，在 2011 年有 156 家灌排企业为会员企业，该协会对这些企业的资料进行了分析（以下数据来自该协会的统计年鉴），其中按要求提供了数据的会员企业有 143 家。样本中，成立于 1992

年之前的企业不足 10 家，超过 90% 的企业成立于 1999 年以后，其中 30 家企业成立于 2008 年以后。有 5 家企业的员工人数在 10 人以下，60 家企业的员工人数在 10 ~ 50 人之间，65 家企业的员工人数在 100 ~ 500 人之间，只有 13 家企业的员工人数超过了 500 人。注册资金大致分为三个级类：50 万 ~ 100 万元为第一级类，约占样本企业数的 35%；500 万 ~ 1 000 万元为第二级类，约占样本企业数的 55%；只有 15 家企业的注册资金超过了 5 000 万元，为第三级类，约占总企业数的 10%。样本中，年营业额也大致分为三个级类：500 万 ~ 1 000 万元为第一级类，约占样本企业总数的 40%；5 000 万元为第二级类，约占 48%；只有大约 20 家企业超过 1 亿元，为第三级类，约占 12%。这 143 家企业的年总营业额为 847 059 万元。

目前，我国规模以上高效节水灌溉设备生产企业均比较规范。生产车间、料场、半成品和成品库、检验检测设施等基本能够达到工业设计规程规范的要求。滴灌带生产线、注塑机、数控机床等主要生产设备一般为国内制造，少量设备从国外进口。多数企业具备模具制造能力。

经过 30 余年的发展，我国企业已经能够制造目前世界上几乎所有的高效节水灌溉设备。在农业类高效节水灌溉设备制造方面，我国企业的技术水平已经达到欧美地区、以色列等发达国家同类产品的技术水平。园林绿化类（包括高尔夫球场、运动场等）产品的制造技术水平与欧美地区、以色列等发达国家的同类产品接近。

3. 市场发展情况与需求、趋势预测

从“十一五”发展规划可以看出其发展的现实需求。“十一五”期间全国计划发展农田节水灌溉面积 1.5 亿亩，其中的 1.3 亿亩是对现有灌溉面积进行节水技术改造，0.2 亿亩是新增节水型灌溉面积；发展牧区饲草节水灌溉面积 0.4 亿亩；发展旱作农业雨水高效利用面积 1.24 亿亩。在相应的投资方面，发展 1.5 亿亩农田节水灌溉面积需投入 1 000 亿元，其中渠道防渗工程 350 亿元，低压管道输水灌溉工程 250 亿元，喷灌工程 250 亿元，微灌工程 150 亿元；发展 0.4 亿亩牧区饲草节水灌溉面积需投入 200 亿元；发展 1.24 亿亩旱作农业雨水高效利用面积需投入 280 亿元。在以上各项投入中，对节水灌溉产品、材料和制剂的投入占总投入的 50% ~70%，市场份额应在 150 亿 ~200 亿元/年。

喷灌设备产品包括：适用于大型喷灌机组的组合式节能低压小流量喷头、园林专用喷头系列产品、半固定式铝合金和镀锌薄壁钢管管材与管件、控制阀及安

全保护阀、轻小型喷灌机、中型卷盘式喷灌机组和少量大型喷灌机等。按年均新增喷灌面积500万亩计算，产品的年市场需求量为：喷头225万只，管件90万件，管材600万m，轻小型喷灌机组3万台，大、中型喷灌机1 600余台。

微灌设备产品包括：内镶式补偿滴灌管、重力滴灌管、薄壁滴灌带、多孔微喷灌带、各类微喷头、过滤器、专用储肥液装置、化肥罐及配套产品、压力流量调节器等。按年均新增微灌面积200万亩计算，产品的市场需求量为：塑料管材及管件3万t，微灌管（带）产品6亿m，微喷头0.8亿套，小型和中型筛网或叠片式塑料过滤器分别为200万只和1.25万只，砂石或离心式过滤器0.8万套，小型和中型施肥罐装置分别为200万台和1.25万套。

《国家农业节水纲要（2012—2020年）》把节水灌溉作为经济社会科学可持续发展的一项重大战略任务，全面部署了农业节水的各项工作。要求到2020年，在全国初步建立农业生产布局与水土资源条件相匹配、农业用水规模与用水效率相协调、工程措施与非工程措施相结合的农业节水体系。基本完成大型灌区、重点中型灌区续建配套与节水改造和大中型灌排泵站更新改造，小型农田水利重点县建设基本覆盖农业大县；全国农田有效灌溉面积达到10亿亩，新增节水灌溉工程面积3亿亩，其中新增高效节水灌溉工程面积1.5亿亩以上；全国农用水量基本稳定，农田灌溉水有效利用系数达到0.55以上；全国旱作节水农业技术推广面积达到5亿亩以上，高效用水技术覆盖率达到50%以上。在东北、西北、黄淮海、南方四个区域，分别重点推进节水农艺措施和工程节水措施，适宜地区推广生物抗旱剂、土壤保水剂、膜下灌溉、大中小型喷灌、低压管道输水、水肥耦合技术以及小水窖、小水池、小塘坝、小泵站、小水渠“五小”水利工程等。

10.2.2 国外情况

国外水泵生产相对国内更为完善，技术更为成熟。农用水泵系列、规格较多。著名的生产商有美国ITT流体技术公司、美国福斯泵公司（Flowservs）、日本荏原公司（EBARA）、德国凯士比泵公司（KSB）、丹麦格兰富泵集团（Grundfos）、瑞士苏尔寿泵公司（Sulzer）、英国威尔泵公司（Weir）等。

在喷灌设备方面，具有代表性的美国企业有雨鸟公司（Rain Bird）、亨特公司（Hunter）、托罗公司（TORO）、L. R. 尼尔森公司（L. R. Nelson）、尼尔森灌溉公司（Nelson Irrigation）、万美公司（Weathermatic）、科雨公司（K-Rain）、巴克纳公司（Buckner）、维蒙特公司（Valmont）、林赛公司（Lindsay）等。欧洲

有欧洲滴灌公司（Eurodrip）、法国灌溉公司（Irrifrance）、保尔公司（Bauer）等；以色列有耐特费姆公司（Netafim）、普拉斯托公司（Plastro）、纳安公司（Naan）、丹安公司（Dan）等。世界上科技先进、经济发达的国家早在20世纪30年代就开始研究实施喷灌这一先进的节水灌溉技术，西方国家采用喷灌设备灌溉作物始于庭院花卉和草坪的灌溉。20世纪30—40年代，欧洲发达国家由于金属冶炼、轧制技术和机械工业的迅速发展，逐渐采用薄壁金属管作为地面移动输水管，代替投资大的地埋固定管，用缝隙或折射喷头浇灌作物。

第二次世界大战后，西方各国为了恢复并发展经济，快速发展喷灌技术和机具设备，特别是大型自走式喷灌机和摇臂式喷头等技术的发展，使喷灌技术向前迈进了一大步。这类设备因可节省大量劳动力，灌溉水量均匀，增产显著，在美国干旱的西部17个州得到广泛应用，其中圆形和平移式大型自走喷灌机的喷灌面积占全美国喷灌面积的64.3%。与此同时，在欧洲，薄壁金属移动管道喷灌系统和卷管式喷灌机因简便耐用、投资少、效益高，也在不断发展。薄壁金属管制造工艺和金属材料的改进，使管壁厚由原来的1.5mm减少到现在的1.0mm，法国、意大利、罗马尼亚等欧洲国家普遍使用薄壁金属管道喷灌系统。卷管式喷灌机是随着化学工业的发展，于20世纪70年代初期在“特质PE输水管”和“塑胶软管”问世后才迅速发展起来的，目前上述软管的质量、强度、耐磨性、抗老化性能等技术指标都有很大提高，进机工作压力也由20世纪70年代末的0.8~1.2MPa降低至现在的0.6~1.0MPa。此外，恒速控制是当前卷管式喷灌机的显著优点之一。

目前全世界灌溉面积的大部分仍是地面灌溉，为了提高传统地面灌溉水的利用效率，节约灌溉用水，最近国际上主要是将连续灌改为“波涌”灌（也称间歇灌），其特点是在长沟中分次进行灌水，即第一次的灌水在沟中经过一段距离后即停止灌水，停灌一段时间后再开始下一次的脉冲灌水。其优点是可提高水在灌水沟中的流速，减少水流在灌水沟中的渗漏损失。一般对于相同的灌水量，流程可增大一倍，比连续灌省水30%左右，沟的长度可达100m以上。但这种灌水技术比较适用于壤质土地区。

美国的喷灌形式多种多样，时针式、滚移式、平移式、卷盘式、支架式都有。支架式从微喷灌、小喷灌到喷灌呈系列化。滚移式、时针式、平移式、卷盘式与世界各地的形式没有太大的区别，只是在使用范围上有所侧重。大田作物多用时针式、平移式或卷盘式。支架式喷灌即固定式或半固定式喷灌。固定式喷

灌，从支架到喷头常年放置在野外，这种喷灌方式与相应的耕作机制相配套，不会对耕作造成影响。在喷灌支撑杆与输水管道的连接以及喷头管材、管件设计上，美国都有独到之处。半固定式喷灌准确的称谓应为“季节性固定喷灌”，就是耕种时收起来，耕种结束后再放置到田间，直到收割期。小喷灌在美国随处可见，主要用于低矮密植作物，如蔬菜、草莓等。小喷灌是介于微喷灌和喷灌之间的一种形式，投资省、适用性强。微喷灌在美国主要用于果树和环境绿化。

以色列的滴灌管道无处不在，无论是在农田、果园，还是公园，乃至城市的林荫道、居民门前、阳台的花盆或一棵树都铺设滴灌系统。针对各种灌溉对象使用相应的系统，通常在地势平坦的大田地块采用移动式微喷灌或行走式喷灌，在坡地、山地多采用滴灌，设施栽培上使用滴灌和微喷，园林绿化树木使用滴灌，草坪使用地埋喷灌，在林木育苗上采用大穴盘和营养袋，全部使用基质和微喷育苗。在蒸发量较大的以色列南部沙漠地区，增加使用地面覆膜滴灌形式，减少地面蒸发。在盐碱地灌溉上采用滴灌模式，成功地防止了根系部位土壤的盐碱化，在高盐区也生产出好果实。

“只给作物施肥喝水，而不是给土地”，这是以色列水肥施用管理的先进理念。其优点是：直接将水和营养送到作物根部，利于吸收；土壤蒸发率低，防止地表水土流失，深层渗透；更有效、准确地提供水与养分，植株获得等量的水和营养；以实现农产品标准化的重要手段，按作物的生长与收获计划提供水与营养，提高产量和品质；系统操作简单，节水节肥又节约能源，同时节省大量劳动力，降低生产成本；防止地表土壤侵蚀和盐碱化。计算机完成精密、可靠的实时控制，执行一系列操作程序。如果系统记录的水肥施用量与要求相比有一定的偏差，系统会自动地关闭灌溉装置，防止发生错误灌溉。这些系统中安装了可以帮助决定所需的灌溉间隔的传感器，可以随时监控地下的湿度信息。还有另外一种传感器，它能检测植物茎和果实的变化，来决定植物的灌溉间隔时间。各种传感器直接和计算机相连，需要灌溉时，自动控制仪器打开灌溉系统进行操作。灌溉系统的水量和施肥量由计算机控制，计算机能够通过流量、压力的变化识别输水管的泄漏和堵塞。

美国雨鸟公司成立于 1933 年，总部位于美国加利福尼亚州洛杉矶附近的格伦多拉市（Glendora）。经过 80 年的发展，已成长为世界上最具规模、最著名的灌溉公司之一，拥有直属的商业公司、产品生产基地，客户服务中心、产品研究中心和配货中心，在美国的加利福尼亚州、亚利桑那州、阿拉巴马州及法国、瑞

典、墨西哥和中国等国家和地区设有生产厂。自公司成立并制造出世界上第一个摇臂喷头（1935 年 4 月 16 日被授予了编号为 1997901 的专利）以来，雨鸟公司一直走在世界灌溉技术最前列，拥有美国专利 130 多项，生产 4 000 多种应用于农业、园林、高尔夫球场、庭院灌溉的喷灌、微灌设备，产品销往 120 多个国家和地区，在 20 多个国家设有办事处。雨鸟公司主要提供：农业灌溉解决方案——用于农作物、苗圃、防霜冻/降温、中水灌溉、工矿除尘，主要产品包括滴灌设备，微喷灌设备，摇臂喷头，大型农用或工业防尘用喷枪，中心支轴式喷灌机、喷灌车，灌溉阀门，微灌控制首部设备，自动控制系统及附件等；住宅和商业灌溉方案——用于住宅和商业区域、公园、市政、高速公路及铁路、运动场、商业中心、学校，主要产品包括散射喷头、摇臂喷头、旋转喷头、阀门、控制器、中央控制系统、商业泵站、微灌设备以及阀门箱、快速取水阀、铰接零件等附件；高尔夫灌溉方案——用于新建球场和球场改造，主要产品包括 Eagles 系列喷头、电磁阀、卫星控制器、解码器、中央控制系统及阀门箱、快速取水阀、铰接零件等附件；庭院灌溉方案——用于创造美丽的花园，主要产品包括小范围灌溉用地埋式喷头、大范围灌溉用喷头、摇臂喷头、阀门、灌水定时器、铜质耐用产品、维修工具及阀门箱、快速取水阀、铰接零件等附件。

以色列耐特费姆灌溉公司是国际灌溉行业的著名公司，是以色列最大的农业公司之一。自从 19 世纪 60 年代耐特费姆公司发明滴灌技术以来，世界农业的面貌发生了根本性的改变。几十年来，耐特费姆公司一直致力于先进技术和产品的研究开发，至今已经推出了十代产品，每一代产品的推出都把滴灌技术带入一个崭新的时代。目前，耐特费姆公司已经发展成为以色列最大的农业综合公司，世界最大的滴灌系统产品的专业厂家，并且通过了灌溉设备生产、灌溉工程设计、安装、服务的 ISO 9001：2000 质量体系认证，凭借雄厚的科技实力、先进的生产工艺、严格的质量控制和对产品质量的不懈追求，耐特费姆公司保证用户得到最佳的设计和最好的产品。先进的技术、因地制宜的解决方案、高品质的产品、丰富的农业知识和全面的售后服务为耐特费姆公司赢得了良好的声誉，其技术、产品、服务及专家遍布世界 70 多个国家和地区。自 20 世纪 90 年代进入我国市场以来，耐特费姆公司一直积极参与我国的农业现代化建设，特别是在节水灌溉和设施农业方面。通过与我国同行的紧密合作，到目前已建成现代化灌溉和温室项目 200 多个，广泛分布在我国 20 多个省份。耐特费姆公司的产品已遍布我国各地，并在新疆、云南、山东、河北、甘肃、上海等地设立了办事处及技术服务

网络，拥有经过严格专业技术培训、经验丰富的设计人员、工程技术人员、农艺专家及市场销售人员。近年来，耐特费姆公司在我国市场的产品销量虽然份额不是很大，但销售量十分稳定，且牢牢占据了节水器材产品的高端市场，压力补偿、地埋式、过滤器等系列节水器材的市场份额占统治地位，树立了优质高价的产品形象。

10.3 国内外技术发展现状与趋势

10.3.1 国内情况

1. 水泵相关技术

水泵是一种通用机械，属于水力机械范畴，水泵产品的更新和性能改善主要依赖于三个方面，一是水泵设计方法，二是制造方法和制造水平，三是水泵新结构与新设计对新用途、使用要求的满足。

（1）水泵设计方法　水泵设计方法在很大程度上决定了水泵的性能，特别是水泵两类过流部件（叶轮和泵壳）的设计，对于水泵的整体性能至关重要。目前水力部件常用的设计方法有一元方法、二元方法、三元方法、反求设计方法等。其中，反求设计方法是具有很大前景的设计方法，它的设计依据为水力部件的流动特征；而一元方法和二元方法则是目前应用较广泛的设计方法。比如荏原公司就采用反求设计方法并开发出相应的设计软件进行水泵过流部件的设计。

（2）制造方法和制造水平　新制造方法的应用会大大提高产品生产效率，减轻工人劳动强度，特别是对于农用水泵产品来说，关键水力部件大多为铸造生产，而铸件质量在很大程度上依赖于铸造方法。比如传统的砂型铸造和目前开始在水泵上应用的消失模铸造、熔模铸造等，新方法的应用提高了铸件质量；另外，快速成形技术、高精度机床等新技术和设备的应用不仅提高了零件质量，同时也缩短了生产周期。

（3）新结构与新设计　随着经济的发展，对水泵容量、转速、稳定性的要求日益提高，此外对能适应较为复杂使用环境的要求也日益凸显。为了适应这些要求就要对水泵结构和原有设计进行改造和更新。

2. 喷灌技术

喷灌是将灌溉水通过由喷灌设备组成的喷灌系统，形成具有一定压力的水，由喷头喷射到空中，形成水滴状态，洒落在土壤表面，为作物生长提供必要水分

的工程技术。按喷灌系统主要组成部分的移动与否可分为移动式、固定式和半固定式三类。

（1）移动式喷灌　移动式喷灌是指除水源和水源工程以外，从水泵、动力机、各级管道，直到喷头都可以拆卸移动，轮流使用于不同地块的一种喷灌形式。

（2）半固定式喷灌　半固定式喷灌是指除水源、地埋管道、给水栓固定不动以外，喷灌系统的支管、喷头、竖管和支架在一个工作点喷洒作业完后，可由人工移至下一工作点的喷灌形式，如图 10-1 所示。

图 10-1　半固定式喷灌

（3）固定式喷灌　固定式喷灌是指水源、机泵均固定不动，输水干管、支管全部埋入地下，各喷点全部安装竖管和喷头，在灌溉期间所有设备均不需移动的一种喷灌形式，如图 10-2 所示。

图 10-2　固定式喷灌

3. 微灌技术

我国的微灌技术始于20世纪70年代，山西省临汾的龙子祠引泉工程、河南省济源的合瓦地灌排工程等是最早的渗灌工程。1975年以后，山西省万荣县、河南省许昌市及江苏省的常熟、睢宁、南通、启东、徐州等地进行了渗灌试点。然而，这些试点仅仅限于试验阶段，没有得到广泛应用，而且自动化灌溉技术也没有得到应用。目前我国现代微灌技术的发展主要是在引进和消化技术的基础上，从无到有，逐渐被人们认识和接受。

1985年福建省龙溪地区引进了美国当时达到世界先进水平的整套微喷灌设备，大大促进了我国微喷灌技术和设备的发展。最近几年，由于国家的重视和实际的需要，各地大力发展节水灌溉技术，微灌在我国进入了快速发展阶段。随着近年来水资源的日趋紧张，世界各国都在积极探索有效的节水途径和措施。喷灌和微灌技术就是为了解决水资源不足，提高灌溉效率而发展起来的灌溉技术之一。

微灌是按照作物生长所需的水和养分，利用专门设备或自然水头加压，再通过管道系统末级毛细管上的孔口或灌水器，将有压水流变成细小的水流或水滴，直接送到作物根区附近，均匀、适量地施于作物根层所在部位土壤的灌水方法。微灌是当今世界用水最省、灌水质量最好的现代灌溉技术。微灌主要用于果树、保护地蔬菜、花卉和其他经济作物的灌溉。微灌按所用的设备（主要是灌水器）及出流形式不同，主要分为微喷灌、滴灌、小管出流灌和渗灌四种。

（1）微喷灌　微喷灌是以低压和较小流量进行喷洒的灌水方式。它具有节能显著、灌水均匀等优点，在灌溉的同时还可有效地调节小气候环境，具有良好的降温增湿功能，并且由于喷洒水滴细小，因此不会伤害作物及对土壤表层产生击打破坏作用，与滴灌相比抗堵塞性强，因而在果树和苗圃灌溉中应用很广。

（2）滴灌　滴灌是利用安装在末级管道（毛细管）上的滴头，或与毛细管制成一体的滴灌带使压力水以水滴状流出，在灌水器流量较大时，形成连续细小的水流湿润土壤。

（3）小管出流灌溉　小管出流灌溉是在我国北方果园推广应用的一种摘掉微喷头后，以较低的压力进行局部灌溉的节水灌溉方法，属于微灌中的涌泉灌。

要实现精确灌溉，自动控制设备是必不可少的，灌溉自动控制模式与人工控制方式相比，具有节省水、肥、能量、杀虫剂、人工等优点，并可基本消除在灌溉过程中人为因素造成的不利影响，提高操作的准确性，有利于灌溉过程的科学

管理和先进灌溉技术的推广。同时，通过灌溉控制系统适时、适量地灌水，可提高作物产量，有利于我国广大农村劳动力的转移和农村经济结构的调整。这类设备我国虽有研制，但并没有形成产品，其控制一般采用单片机，功能单一，可操作性差，今后应加强这方面的工作，以提高我国微灌设备的配套能力和总体水平。

我国发展节水灌溉技术应当借鉴国外先进经验，应用现代技术将流域、灌区和田间的管理、工程及农艺节水措施很好地结合起来，发展高效、智能的喷灌机，使我国的节水灌溉事业得到可持续发展，取得更好的节水效果，更大的经济效益、社会效益和环境效益。

4. 移动式喷灌机技术

移动式喷灌机将微喷头安装在可沿着轨道运行的喷灌机主机的喷灌臂上，随着喷灌机主机的移动实现行走式喷灌，有的还可以通过转移装置实现温室内不同跨度的灌溉。市场上可见的移动式喷灌机除地面移动式和悬挂移动式以外，还有手推移动式、电动移动式、水动移动式等多种类型。但由于悬挂移动式喷灌机工作灵活方便，可靠性高，且易于实现自动控制，因而成为目前在各种温室中应用最多的一种移动式喷灌设备。

目前我国的喷灌机大致有以下几种：

（1）大型喷灌机　大型喷灌机的自动化程度和作业效率高、单机控制面积大，亩投资较低（200～400 元/亩），适用于要求机械化程度高的规模化农业发展节水灌溉的需要，如图 10-3 所示。

图 10-3　大型喷灌机

（2）卷盘式喷灌机　目前我国批量生产的卷盘式喷灌机有 JP40、JP50、JP65、JP75 和 JP90 系列产品。卷盘式喷灌机因结构限制，供水管道和水涡轮上

的水头损失较大，单喷头配置时入机压力较高，能耗偏大。卷盘式喷灌机如图 10-4 所示。

图 10-4　卷盘式喷灌机

（3）轻、小型喷灌机　轻、小型喷灌机使用最多的为手抬式和手推式机组，它们是当前我国喷灌机具的主力军。我国轻、小型喷灌机已形成相当规模的生产能力。轻、小型喷灌机组机动灵活，使用方便，亩投资低，适合当前我国的农村经济体制和农业经营规模，这是它应用广泛的主要原因。但这种机型的生产制造分散，产品质量和工艺水平参差不齐。质量不稳定的原因：一是企业质量管理不善，缺乏长远考虑，没有真正树立质量是企业生命线的意识；二是技术、装备上没有形成专业化生产的格局，生产工艺落后，缺少专用加工设备，缺少必要的检测手段。轻、小型喷灌机如图 10-5 所示。

图 10-5　轻、小型喷灌机

5. 自走式节水喷灌机技术

目前我国喷灌设备还相对落后，为满足社会发展要求，急需新的喷灌设备。经研究，把喷灌机、触摸屏和 PLC 三者有机结合起来，研制了一种全新理念的

喷灌系统。喷灌机用 PLC 控制，从而使该设备体积小，工作可靠，成本低，自动化程度高，可实现大面积自行灌溉，达到节水灌溉的目的；使用触摸屏作为人机交互控制的媒介，使控制透明化、简单化，喷灌机的操作简化到只用几个按键即可控制，且可通过参数设置增加自走式喷灌机的功能，实现实时、动态操作喷灌机，使非专业人士也可以十分方便地控制喷灌机。自走式喷灌机系统分机械和控制两部分，机械部分主要由喷灌主机、控制箱、供水系统、轨道和滑轮车及安装配件等组成。主机用热浸镀锌钢材制作，可实现对各部分的支撑，并在控制系统控制下沿轨道移动。控制箱安装在温室墙面上或温室立柱骨架上，与喷灌系统主机分离，方便实现即时控制。控制部分由触摸屏、PLC 和外围电路组成。采用步进电动机驱动喷灌机，在运行过程中，自动完成喷水、施肥和喷药等工作。

6. 智能控制轻型移动喷灌机组技术

智能控制轻型移动喷灌机组由中国农业机械化科学研究院完成，该机组在技术上将大型喷灌机技术科学地移植于轻小型喷灌机上，实现机型变种，开发设计出新型机组，拓展了圆形喷灌机型谱，如图 10-6 所示。

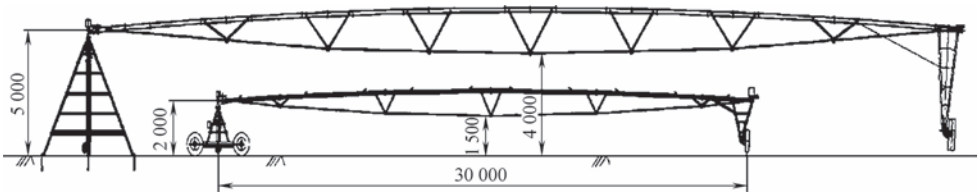


图 10-6　大型 DYP 系列产品轻小型化总体结构尺寸对比图

智能控制轻型移动喷灌机组主要具有以下特点：

1）用户可以通过手机对机组实现远程遥控，机组将运行状况反馈至用户手机，实现了机组远程控制。

2）通过调整机组的行走速度来平衡土壤入渗率，避免地表产生径流，以适应各种土壤灌溉作业需求。

3）机组蜗杆减速机更改为齿轮减速机，传动效率提高了 40%，具有明显节能效果。

4）喷头所配压力调节器有效克服了地势变化引起的喷洒均匀性较大的波动，使机组在绝大多数工况下，都具有良好的灌水均匀性。

5）机组具有较强的通过性能，允许通过坡度不高于 25% 的地面，并可在泥泞土地等恶劣地面作业。

6）机组配置灵活，标准机型由 3 个 30m 跨体和 1 个 10m 悬臂组成，也可根据作业地块大小及形状灵活增加或减少跨体数量，以满足作业的需求。

7）机组牵引方便，在作物灌水周期允许的条件下，可在多个地块之间循环作业，以节省灌溉工程辅助设备投资（地埋管道、动力线等），提高了设备利用率。

7. 自动化滴灌系统

这里介绍的自动化滴灌系统由新疆石河子张婷等人研发，该系统主要分为首部设备和田间设备两部分。首部设备由自动反冲洗过滤器、自动施肥罐设备、滴灌首部及中央主控系统（主计算机、控制柜、触摸屏）、气象观测站（可测量气温、风向、风速）等设备所组成；田间设备由有线或无线远程田间控制器（RTU）、田间湿度传感器（可测土壤湿度绝对值）、土壤水分张力计等组成，电磁阀（或液力阀）与支管和滴灌带相连接。

操作人员可坐在首部控制室里，对采集传回的气象资料、田间土壤湿度等数据进行综合分析，利用手动或自动方式，足不出户地对整个自动化滴灌系统进行轮灌灌溉。同时，还可以利用数据查询系统和打印系统，随时记录、查询、打印整个系统区域的气象资料、土壤湿度、灌溉设置、灌溉进程、灌水历史记录等数据。结合作物不同灌溉期需水量的不同和各种作物的需水规律，实现系统自动、适时、适量灌溉和施肥，既节省了以往滴灌人工开、关阀门的繁琐工序，还大大降低了劳动强度，提高了工作效率，实现了精准灌溉，使滴灌这一先进灌溉技术的科技含量进一步得到提升。系统总体结构框图如图 10-7 所示。

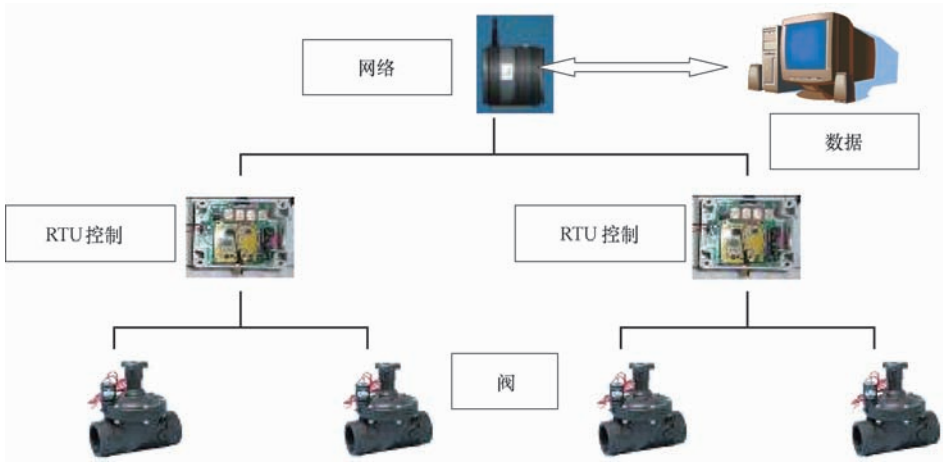


图 10-7　系统总体结构框图

自动化滴灌系统网络结构主要由计算机和以太网组成第一层控制中心，第二层为 GPRS 无线控制器或 UHF 公共频段（无需申请额外附加费用），第三层为阀门控制器。阀门与 RTU 连接，RTU 选用低能耗工作部件，采用太阳能供电，这样在电力无法到达的地方可以用太阳能供电，此外，一方面减少了电缆的用量，大大降低了成本；另一方面保证了在田间工作人员的安全。

自动化滴灌系统在新疆农业灌溉中主要配套膜下滴灌系统，在设计原理上要实现集中操作监控，离散分布工作。因此，对滴灌系统的设计、管网布置要进行更好的优化组合，提高了每个灌溉小区的灌水均匀性，充分发挥了自动化滴灌的作用，降低灌溉成本，提高灌溉质量，提高效益。

自动化滴灌系统由多个控制单元组成，每个控制单元控制着 1～4 个电磁阀（或液力阀），每个控制单元为一个灌水小区。利用 GPRS/GSM 网路或 UHF 公共频段，由中央计算机统一管理。RTU 实现首部中央主控系统控制指令以电信号的方式接收与运行状态的上传，田间温度、湿度传感器把结果送入计算机，通过传感器采集来的多路数据，进行信息交换，电信号处理后，在微机处理器中，根据不同作物需求确定灌溉量，然后控制信号输出，结合中央控制系统的指令，控制阀门的开、关。在计算机进行灌溉参数设置时，操作人员通过中央控制系统实现轮灌自动控制编程、灌溉管理和系统运行及调整操作，既可以实现自动灌溉，实施田间监控、异常报警、田间数据的采集传输和分析，又可及时对灌溉情况进行统计，并可通过专用软件在计算机上存储、显示数据和图表，同时还可以人工进行特殊操作，通过互联网获取气象信息，有预见性地实施灌溉，计算机对采集的数据进行分析并保存，直观地反映给用户，用户可根据这些数据合理调整田间灌溉量。

10.3.2 国外情况

1. 水泵方面

应用反求设计方法（主要代表是日本荏原公司）可以获得较为优秀的水力模型。采用基于 CFD 的多方法优化设计方法进行模型优化；采用快速成形方法完成模型试制并尽快试验，最终指导设计，改进与完善模型，最后进行样机试制与试验。

2. 灌溉系统控制器方面

国外在喷灌、微灌技术方面开始比较早，此处仅介绍较新的产品与相关报

道。美国农业部网站 2009 年 1 月 16 日公布消息，科学家正在研究一种新型灌溉系统。水稻传统的灌溉方式使灌溉水层厚，大量多余的水积蓄在田间，导致水分无谓地流失。他们发明了一种“多进口水稻灌溉系统”，被称为 MIRI 稻田灌溉系统。其基本原理是：在稻田漫灌时，放置可以任意使用的薄壁聚乙烯灌溉管道，直接通到稻田，当水满的时候，水直接从高管溢流到底管中灌溉。与传统的灌溉方式相比，MIRI 灌溉的稻田平均节水 24%，灵活适应性是它最大的特点。评定草坪需水量和预测降水情况，依此来安装喷洒设备并设定运行时间及消耗精力和时间。如今的控制器技术已经非常发达，不但可以设计和评估灌溉系统，而且可以提供诸多比预报还准确的气象数据，有的甚至可以计算蒸散量，所以它令灌溉日程安排的准确性堪比原子钟。下面就几款软件进行简要介绍。

美国亨特公司发明了 ICC 控制器，通过人性化地调整、管理灌溉系统更有效地管理诸多子站。控制器由多个设定好的模块组成，通过它建立一个可同步管理 48 个子站且具有不同灌溉需求的灌溉系统，可用于草坪、灌木或其他对灌溉有特殊需求的品种。其特点包括采用易操作的显示界面，可对主阀门进行编程控制，具有 365 天管理日历，装配雨量传感器并可依据季节自动调整，柜壳可选用塑料、金属或不锈钢多种材质。亨特公司的控制系统与控制器如图 10-8 所示。

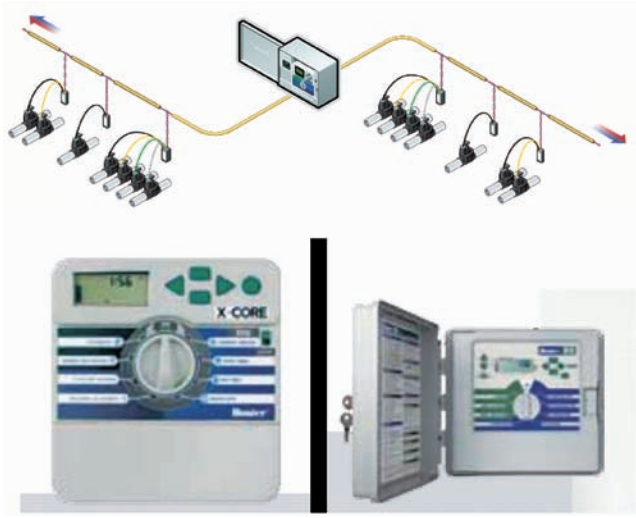


图 10-8　亨特公司的控制系统与控制器

昂赛特（Onset）计算机公司给 HOBO 气象站和微灌站产品装配了无线调制解调器，场地维护专员足不出户便可检索、分析 8km（5mile）以外的多个 HOBO 气象站传回的气象数据。六块 D-cell 独立电池供电足够供应一整年的运行能耗，不需要气象站提供任何额外能量。调制解调器采用 900MHz 扩频技术无线电发送信号。

雨鸟公司的高尔夫部门设计了 WS PRO LT 气象站，用于帮助管理人员准确设定喷头运行时间，而不是一味猜想。这一传感器可 24h 收集气象数据，比如温度、相对湿度、风速、太阳辐射和降雨量，这些数据可作为确定蒸散量（ET）的标准，依此分析精确浇水量来维持设定的土壤湿度水平。其他特征包括可翻转、能得出气象数据报告和具有无限量数据存储功能。

赛尼哥（Senninger）灌溉公司推出了 Irri-Maker 灌溉软件，方便人们更灵活地进行灌溉设计。Irri-Maker 软件能预先评估安装备选方案：调查地形、提供等高线详图、画出细节图和提供灌溉设计方案。这一软件包括内置 CAD 辅助设计程序，它允许用户添加特定的文本或位图图像等高线图，其细节包括道路、围墙、边界、河流、树木等元素，用户可以控制每一设计元素，不管是规定块状区域、增加喷头和管线，还是管道型号变更或进行水力学计算。

托罗公司的 Smart OSMAC 软件通过独立卫星操作来进行灵活的灌溉控制。它可在未安装中央控制器或控制器损坏或关闭的情况下使用。该软件采用无线电指令实现对子站、卫星时间、卫星校准百分比、程序校准百分比和程序运行时间的同步操控。Smart OSMAC 每个程序的每个站可同时运行 10 个不同的程序。托罗公司的控制器如图 10-9 所示。

图 10-9　托罗公司的控制器

图克（Tucor）公司的各类 Flowmaster 产品可提供经济、节水灌溉控制。控制器可管理单个阀门，并可与嵌入式调制解调器同时使用，从而实现两种运行方式和遥控通信。解码器通过有线的方式进行充电和发送控制信号，内含的微处理器更便于其进行控制和测试。解码器与行译码器并列安装在双线式路径上，电流限制在 4～20mA，采用模拟化或数字输入。

10.3.3 总体技术发展趋势

1. 水泵方面

水泵作为第二大通用机械，在各行业中有着广泛的应用。我国生产的水泵在某些方面与国际水平尚有差距，有待改善。水泵行业整体发展与国际大方向是一致的。首先，在水泵设计方面，在很大程度上已不单单依赖于传统方法，目前主流方向是采用数值计算和试验交替的方法，不断对水力模型进行优化，从而获得更加符合流动规律的模型。为此，水泵设计和试验主要方向为：水泵内部流动规律的揭示、水泵结构动力学特性分析、水泵运行稳定性的研究、水泵空化问题的研究、水泵系统运行与节能研究等，这些方面对于提高水泵设计能力，适应更高的要求具有重要作用，有些方面虽然只是在科研和试验层面，但是也是来自实际问题。其次，特种用途水泵的研制与开发日益增多，比如各类电厂用泵，尤其是核电站泵的设计、生产已成为我国重要的研究泵型。再次，水泵的大型化是主流趋势之一，随着许多跨流域调水工程和农田灌溉工程的开展，大型水泵的应用越来越多。比如：美国加利福尼亚州调水工程中使用的立式离心泵，功率已达58 840kW;我国2009年新建南水北调工程中线工程中的惠南庄泵站所使用的双吸离心泵，单机流量达到10m^3/s，堪称我国最大的双吸离心泵。此外，对水泵安全节能的要求越来越高，通过试验、流体力学计算和结构有限元的手段寻找提高效率和稳定性的途径。除水泵本身的技术以外，对水泵系统的要求也更加严格。科研和实践经验表明，水泵性能发挥与否不仅仅是由水泵决定的，而是由水泵整个装置的性能决定的。水泵系统的运行特性研究对于节能也有重要意义。

2. 喷灌和滴灌设备

喷灌在国际范围内的应用呈持续增长趋势，国际灌排委员会（ICID）31个成员国的喷灌面积已逾3亿亩，占这些国家总灌溉面积的12%。“九五”以来，我国的喷灌面积增长迅速，目前已超过4 000万亩，占有效灌溉面积的4.7%，成为我国现代农业的标志和重要组成部分。“十五”期间，依托国家863计划等重大项目，在喷灌系统及新型管材、管件与量配水关键设备及产品方面，开发出全射流系列喷头、高效低能耗轻小型移动式喷灌机组、智能化大型自走式喷灌机组等一批适合我国国情、具有自主知识产权和国际竞争力的重大节水产品与设备，国产设备市场占有率由30%提高到50%，有力地推动了我国农业现代化建设的进程。但是由于我国在这一领域起步较晚，与国外发达国家相比在理论研究

和技术水平上仍存在一定差距。无论从我国现代农业的发展需求还是与国际领先技术的差距来看，喷灌技术在我国还有很大的发展空间。喷灌技术的发展趋势主要表现在以下几个方面：

（1）向大型化、多功能方向发展　大型喷灌机的快速发展对系统设计的科学性和标准化提出了新的更高要求。目前国产喷灌机的桁架标准化、系列化程度不高，导致了实际应用中喷灌系统匹配不合理，不能满足供水量过多或过少的要求，从而造成供水系统动力过大、机组运行时间过长等浪费能源和水资源的现象。因此，研究喷灌机组变量精准灌溉技术，是提高水分利用效率、拓宽机组适应范围、减少设备投资及扩大灌溉面积的有效途径。

多目标综合利用是大型喷灌机的一大优势，然而目前我国在这一领域的研究和实践还较少。应用较多的是结合施肥装置进行施肥灌溉，常用的施肥装置有机泵注入式和压差系统注入式两大类。普遍存在的问题是控制精度低、智能化程度不高、施肥均匀性差等，大大限制了大型喷灌机综合效益的发挥。

从目前大型喷灌机的应用现状分析，最大的问题在于缺乏适合不同作物生长特性的运行管理模式。造成这一现象的主要原因是相关研究工作的滞后，现有大型喷灌机的研究大多集中在系统设计、关键设备研制、机组水力性能等方面，水肥施入土壤后的运移状况和作物吸收特性以及作物的响应等方面均未涉及。因此，深入研究大型喷灌机的灌水施肥性能、作物的响应机制，提出不同作物的大型喷灌机运行管理及高效利用模式，对进一步促进大型喷灌机的推广应用，完善大型喷灌机的技术发展具有重要意义。

（2）向精准化、智能化方向发展　精准灌溉是为了适应集约化和规模化程度高的作物生产系统，由欧美国家率先提出的，主要特征是运用 3S 技术、信息技术等高新技术对现有的农业生产设备进行升级配套，提高农业生产的可控程度和稳定性，实现农业生产的智能化、精准化和数字化。20 世纪 90 年代，我国开始对精准农业进行研究和推广。近年来，在精准农业的示范研究方面发展速度较快，但这些研究与应用大部分局限于单项技术领域与农业领域的结合，没有形成精准农业完整的技术体系。国内也有不少科研单位在研发变量作业农业机械，如吉林大学研发出变量深施肥机，国家农业信息化工程技术研究中心开发了与我国拖拉机配套使用的精准变量施肥机，黑龙江八一农垦大学、中国农业机械化科学研究院等也对机械驱动式精密变量施肥播种机和变量喷药技术进行了相关研究等。总体来说，我国目前变量作业农业机械的研究虽然多处于概念阶段和试验阶

段，实际应用尚需时日，但也给农业灌溉的变量施水提供了借鉴的理念。

对喷灌系统而言，喷头的变量精确喷洒是实现整个系统精准灌溉的核心，所以各国都在喷头的性能改进和材料工艺上投入大量的精力。目前，实现喷头变量喷洒的主要手段是在传统喷头结构上增设调节流量、转速、射程、压力或仰角的调节机构，通过蜗杆传动、凸轮传动、柱塞传动等传动形式控制调节机构的运动，达到变量喷洒的目的。我国在这方面的研究工作虽然起步较晚，但近年来在国家科技项目的大力支持下取得了长足的进步。“十五”期间，在国家重大科技专项“田间固定式与半固定式喷灌系统关键设备及产品研制与产业化开发”中，提出了优化喷嘴流道的结构及形状、增加附属装置等对喷头雾化状况、仰角、旋转角等进行调节的方法，研制出节能异形喷嘴喷头和非圆形喷洒域喷头等产品。“十一五”期间，在国家863计划重点项目“轻质喷灌多功能产品”中，研制出具有记忆功能的园林升降式喷头、可调仰角及可调雾化程度的喷头、记忆型给水控制阀、恒压智能喷灌系统等喷灌设备，有力地提高了我国喷灌设备研发的技术水平，推动了喷灌的进一步发展。但是目前仍然存在变量喷头品种少、功能单一、适应性低等问题，现有调节机构的可靠性和稳定性需进一步研究，喷头结构参数还需进一步优化。

世界喷灌技术的发展趋势可以归纳为以下几个方面：

（1）变量施水精确灌溉（Variable-rate and Site-specific Irrigation） 精确农业和变量技术最早的研究和应用主要集中在肥料、养分、杀虫剂和杀草剂的喷施，随后发展到了变量施水和精确灌溉。精确灌溉的核心技术是能够开发出根据作物或地块形状需要、在不同位置灌溉不同水量的设备，除了在喷灌机上配备全球定位系统（GPS）和地理信息系统（GIS）的设备外，主要包括变量施水灌溉喷头、控制器和变流量泵。其中最为关键的设备应属变量施水精确灌溉喷头，其主要有三种类型：第一种是通过计时器控制喷洒时间的脉冲式喷头；第二种是将喷嘴尺寸不同的喷头安装在多排并列管道上，工作时可控制其中一条管道单独工作或几条管道同时工作来实现变量施水；第三种是流量由电磁阀控制的变量施水喷头。控制器一般为PLC可编程序控制器。变流量泵有两种形式：一种是压力控制的多级组合泵，另一种是调速泵。

（2）低能耗精确灌溉（Low Energy Precision Irrigation） 采用低压节能的方式，利用安装在移动式桁架上的输水管道将灌溉用水从水源直接输送到作物附近，采用很低的压力将水注入作物根部进行灌溉。一般采用低压喷头取代高、中

压喷头，减小喷头仰角，减少传动装置能耗，采用太阳能和风能作为替代能源。这种灌溉技术利用有限的水资源来灌溉尽可能多的耕地，主要应用于水资源紧缺和能源紧张的干旱、半干旱地区。

目前世界上许多国家纷纷采用了这种技术，如美国林赛公司在平移式喷灌机上对喷头装置和喷洒方式进行了改进，水量损失大大减少，水的利用率可提高到90%以上。法国等国在提高软管卷盘式喷灌机能量利用率上做了不少工作，使喷灌机在驱动旋转和过流中的损失减少了很多，很大程度上改善了这种机型耗能较多的弊病。美国等国通过对喷头及系统其他关键设备的改进和重新进行喷灌机的水力设计，将原有的中心支轴式（Center Pivot）和平移式（Linear Moving）喷灌机改装用于低能耗精确喷灌，取得了明显的节水20%～40%、节能30%～50%和增产10%～20%的效果，无论在蔬菜还是大田喷灌中，其灌溉效果都达到甚至超过了滴灌技术。

（3）喷灌、微灌相互融合　喷灌、微灌相互融合，既发挥了喷灌射程远、效率高和微灌节能节水的优点，同时又克服了喷灌能耗大、微灌灌水器易堵塞的缺点。例如俄罗斯研制的远程脉冲喷灌机，射程可达数百米，雾化性能好，水滴直径仅为0.1～0.6mm，比一般喷灌机省水50%以上。

（4）喷灌设备多目标利用　对喷灌设备进行改装或增添附属设备后，可施化肥或除草剂，喷洒粪水，甚至播种以及防干热风、防霜冻、降温、除尘、绿化等。在综合利用机型上，英国、美国等国将平移式喷灌机作为田间的综合作业机械，所有的作物种植环节以此一机包办，其不仅可完成作物种植环节中的耕、耙、播、收等，还可以完成其他许多新作业项目。

（5）计算机优化设计和自动化管理　国外喷灌系统越来越多地采用计算机辅助优化设计方法，在设计中综合考虑作物产量、喷洒质量、水源、能源、土壤及外界环境等各方面的影响因素，设计范围从喷灌系统零部件直到整个系统，最终实现整个喷灌系统性能最佳、效益最高的目标。采用计算机控制系统实行管理自动化，应用水力控制的自动量水阀以及微型计算机控制的喷灌自动控制装置，不断提高自动化水平，以节省劳动力和水资源，并且改善了灌水条件。

精准农业技术从实施过程来分大致包括农田信息获取、农田信息管理和分析、决策分析、决策的田间实施四大部分。这四大部分，在目前来讲，大多是以分离的技术形式存在的，但发展的趋势是合而为一，统一在变量施用机具这个精准农业技术系统的载体上。常说的3S技术中，RS（遥感）是农田信息的获取手

段，GPS（全球定位系统）是地理位置信息的获取手段，GIS 是农田信息的管理和分析手段，另外还有决策支持系统（DSS）和专家系统（ES），它们是决策形成支持系统的核心，再加上变量施用技术（VRT，决策的田间实施），形成了精准农业技术体系的基本内容。

10.4 存在的问题分析

目前，我国从事高效节水灌溉工程建设和技术服务的企业中，高级技术人员较多，高效节水灌溉工程设计和施工专业技术水平相对较高；从事高效节水灌溉设备制造的企业中，高级技术人员偏少，产品技术设计和制造工艺设计专业技术水平相对较低。由于我国高效节水灌溉设备生产企业产值规模普遍较小，效益水平不高，经济实力相对较弱，自主投入新技术和新产品的研发资金有限，因此目前这些企业在技术研发上处于相对较弱的状况。

尽管如此，为了使成本相对较高的高效节水灌溉系统能在我国相关行业或领域发挥作用，企业在发展过程中仍然十分注重按照我国国情进行产品和技术创新。至今在我国农业方面广泛应用的轻小型喷灌机组、半固定式喷灌系统和棉花膜下滴灌系统便是这种创新理念的成果。

国际化、工程化、精准化已成为我国节水农业发展的一个基本趋势，同时也将是我国节水农业向国际化、民族化迈进的极为关键的一步，它有利于我国农业更好地进入世界市场，同时也将给节水灌溉业带来严峻挑战。我国的节水灌溉产业主要存在以下问题：

1）国家、各级政府和有关部门对节水灌溉发展的支持力度不够。一是对农业节水灌溉项目建设的投入不足，灌溉设施是农田水利建设的重要组成部分，但并未将滴灌明确列入设施农业。二是对节水灌溉设备企业缺少政策和资金支持，节水灌溉设备季节性强，企业流动资金大，目前政府尚未将节水灌溉设备列入涉农物资范围，生产企业还不能在税收、贷款等方面享受相关的优惠政策。

2）盲目追求低造价，降低了滴灌工程应有的功能和质量。最近几年随着滴灌管国产化步伐加快，滴灌每公顷造价降至 7 500 元左右，但相比其他灌溉技术价格仍较高。由于农村用户独立承担滴灌工程投资的意识淡薄，政府扶持资金有限，加上地方政府配套资金有的不到位，造成滴灌工程资金普遍不足，许多地方出现了盲目追求低造价的势头。其结果只能是简化滴灌系统配置、选用低等级产品、施工质量下降，造成系统功能不全，管网三天两头维修，更加深了农户对滴

灌技术的抵触情绪。

3）灌溉用水管理体制和政策不完善，缺乏节约用水激励机制。目前，我国的灌区没有经营管理自主权，灌区的收入主要依靠收取水费。在单方水费价格固定的条件下，灌区收取水费的多寡取决于供水量的多少。许多灌区按灌溉面积收取水费，农民节约用水不能在经济上得到补偿，认为购买节水灌溉设备是白花钱。不管是管理部门还是用水户，都缺乏节约用水的积极性。

4）国内灌溉企业有一大部分规模小而分散。据不完全统计，生产经营灌溉设备产品的企业中小型企业约占 88%，其中中型企业占 12%。相当一部分还是个体作坊式经营，产品形不成系列，整体质量不高，无序竞争，行业效益不佳。

5）企业设备陈旧，工艺落后，缺少专用自动化生产线装备。一些企业甚至使用淘汰的陈旧设备，制造工艺精度低，难以生产出高质量灌溉产品。

6）缺乏专业人才，研发能力不强，管理水平不高。微灌企业尤为突出，微灌产品是集高分子材料、塑料机械、模具、电子及自动控制、农学、水力学等多学科多专业和工艺技术为一体的产品，在灌水器、过滤器及自动化控制产品制造方面，除需要现代化的工艺设备生产线外，还需要相关专业的技术人才，特别是高学历、懂专业、熟悉生产工艺和富有经营经验的技术和经营管理骨干。目前我国绝大多数灌溉企业，不具备以上条件。

7）对产品质量检验重视不够。检测机构不健全，设备简陋、检测精度差，检测人员质素低、责任心不强，不按规定抽检，质量控制不严，致使不合格产品流入市场。

8）企业生产能力失衡，低端产品产量过剩。有关资料表明，我国灌溉企业生产能力，主要指低端产品生产能力，远远超过市场需求，与大量引进高端产品形成了较大反差。

9）多数企业管理手段落后。经营理念陈旧，质量意识淡薄，竞争能力不强，未主动建立质量管理体系。

国内节水灌溉产业与国际先进水平存在较大的差距，主要表现在以下方面：

1）国产滴灌产品性能差距较大，自动化程度低。国外节水设备先进，性能优良，灌水器产品滴水均匀度≤3%，制造偏差≤7%，配套性强，使用寿命长达 8～15 年；国产滴灌产品目前技术水平普遍较低，滴水均匀度≤8%，制造偏差≤15%，配套性差，管理维护、运行费用较高，使用寿命长一般在 8 年左右。国内生产的滴灌产品在推广应用中，普遍存在自适应性能差、自动化程度低等问

题，造成灌水器易堵塞、滴水不均匀。配套过滤、施肥设备自动化控制技术开发滞后，近年来，虽然在过滤器、防堵塞灌水器等方面取得了一定的成果，但大多没有形成产品化和现实生产力的转化，此方面的研究、开发与国外相比还有很大的差距。

2）国产滴灌设备制造企业生产规模小，缺乏行业龙头企业。目前，国内固定资产和年产值达到亿元的国内滴灌设备制造企业仅有 1 ~ 3 家，多数企业节水灌溉专用材料设备仅占其产品的一部分或少部分，专业化程度低，生产技术装备和工艺的落后，严重制约了节水灌溉材料设备产品的更新和质量的提高。

3）国际巨头灌溉企业成为国内滴灌市场最大的竞争威胁。近年来，世界各大节水灌溉企业纷纷抢滩登陆我国市场，以色列耐特费姆、艾森贝克和西班牙阿速德等多家世界著名公司已捷足先登，在我国设立了合资、独资企业，它们通过深入仔细地调查市场，开发了适合我国使用要求和经济水平的节水产品，逐步占有了更多的市场。以色列耐特费姆公司为了降低产品造价，在我国成立了控股合资企业，把先进技术与我国的生产相结合，使国产化率在 30% 以上，有效地降低了节水设备和配件的价格，迅速扩大了市场。

10.5　产业技术发展规划

为了适应未来农业的发展，节水灌溉机械也朝着自动化、精准化方向发展。精准节水灌溉机械是指采用传感器采集田间土壤墒情（包括土壤温度、湿度）后发送至基站，由基站传送给灌溉专家系统，专家系统结合接收到的数据、天气情况和灌溉知识库形成灌溉决策，并通过基站将生成的灌溉控制指令发送给灌溉控制执行机构，控制喷头工作实现适量灌溉。精准灌溉机械系统构成如图 10-10 所示。

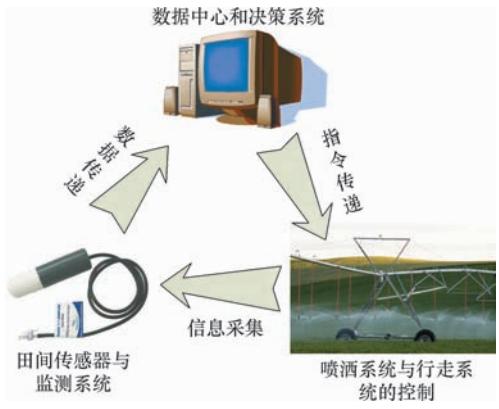


图 10-10　精准灌溉机械系统构成

实施精准农业不但可以最大限度地提高农业现实生产力，而且是实现优质、高产、低耗和环保的可持续发展农业的有效途径。因而精准农业技术被认为是 21 世纪农业科技发展的前沿，是科技含量最高、集成综合性最强的现代农业生产管

理技术之一。它的应用实践和快速发展将使人类充分挖掘农田最大的生产潜力、合理利用水肥资源、减少环境污染、大幅度提高农产品产量和品质成为可能。实施精准农业也是解决我国农业由传统农业向现代农业发展过程中所面临的确保农产品总量、调整农业产业结构、改善农产品品质和质量、资源严重不足且利用率低、环境污染等问题的有效方式，将成为我国农业科技革命的重要内容。

地理信息技术在精准农业中的广泛应用为地理信息技术应用开拓了一个领域，也为地理信息技术产业化发展孕育了新的增长点。精准农业要从“示范基地”走向实用化和产业化，“精准农业”示范工程研究是地理信息技术应用于精准农业研究的切入点。在精准农业应用中，地理信息技术的产业化必须从以下几个方面着手：

1）利用 GIS 技术建立农业基础地理信息系统，这是农业信息化的基础。GIS 在精准农业技术体系中的地位举足轻重，其作用不仅在于从田间信息采集、信息处理与管理、信息分析，到田间决策方案实施的整个种植管理过程，而且贯穿规划、种植管理、产后分析、产后加工及销售的整个种植循环过程。这要归因于精准农业实施对空间信息的依赖性。在精准农业体系中，GIS 不再是一个孤立的系统，而是围绕精准农业核心思想而提供较全面的地理信息服务的平台，而且该平台与其他系统或用户之间通过信息交换而紧密联系。概括来说，这种地理信息服务主要包括信息管理服务、信息交换与更新服务、信息决策分析服务和信息发布服务四项。

2）加强地理信息技术相关理论和技术的研究，如多源数据融合，从遥感影像中进行物理化参数快速提取，GIS 与专家系统及专业应用模型集成，GIS、GPS 与专家系统集成智能作业系统；应用 GPS 技术为土壤类型、土壤肥力特性、水分、作物生长发育状况、病虫草害及农作物产量等田间信息采样和决策方案的田间实施提供准确的空间位置信息。在精准农业中，GPS 的作用主要有三点：控制测量、农田信息采集定位（采样定位和遥感信息定位）和控制导航。目前，GPS 应用研究主要在研制基于移动电脑或掌上电脑的农田信息采集系统和配置 GPS 接收机的智能农机系统两个方面。如美国菲尔德沃克（FieldWorker）公司的基于掌上电脑的信息采集软件 FieldWorker 能很好地满足精准农业农田信息采集的需要；美国 Trimble 公司的 AgGPS160 Portable Computer 能实现田间成图、各种作物及其生长环境属性信息记录、获取来自各种田间环境传感器的信息。

3）开发针对性强、成本低廉的实用系统，如农田信息管理系统以及农田变

量施肥、施水处方生成系统等，这是产业化的最佳途径。

4）成立遥感信息服务机构，集中人才优势，充分利用昂贵的遥感影像信息提取软硬件，降低信息提取的成本，为广大农田管理或粮食收购工作人员提供信息服务。

作物需水信息采集与精量控制灌溉技术：①研究作物对水分亏缺信息的感受、传递与信号转导的过程，建立作物水分信号诊断指标体系，获得利用作物茎秆变形测量诊断作物缺水状况的新技术与新产品；②研究作物水分区域分布监测技术和作物蒸腾过程快速监测技术，提出区域土壤水分空间变异性与最佳动态监测布点方式和区域土壤墒情监测预报技术，获得土壤水分动态快速测定与预报技术及新产品；③以土壤墒情监测预报、作物水分动态监测信息与作物生长信息的结合为基础，研究运用模糊人工神经网络技术、数据通信技术和网络技术建立具有监测、传输、诊断、决策功能的作物精量控制灌溉系统，研制开发智能化的灌溉信息采集装置和智能化的灌溉预报与决策支持软件。

国外非常重视喷微灌系统的配套性、可靠性和先进性，注重新设备和新产品的研制及产业化，特别重视设备和产品的标准化、系列化和通用化，不断推出新的产品或品种，并不断改进老产品的性能。如以色列的微灌产品不仅具有较好的材质和制造工艺，在防堵性能、出水均匀度等方面均具有一流水平，且规格品种齐全，仅微灌塑料器材品种就达近 160 个，规格有 2 000 多种，产品的制造工艺和规模化水平达到较高程度，技术集成度也达到了相当高的程度。我国研制开发的微灌设备在品种、性能和质量上都落后于国外同类产品，在产品的耐久性、配套性、系列化、标准化等方面亟待改进与提高。喷微灌设备产业化发展的重点是：

1）高性能的一体化灌水器，包括内镶补偿式滴灌管、具有压力补偿功能的滴灌带、抗堵塞性强的内镶式灌水器、适用于温室的小管径滴灌管（带）等。

2）地下滴灌成套设备，包括抗堵塞性强的地下滴灌灌水器、高性能的过滤设备、真空破坏设备、地下滴灌管铺设机械、系统设计软件等。

3）高性能的微灌配套设备，包括连续作业性强的滴灌管（带）收放设备、压力调节设备、小型一体化过滤设备等。

4）多功能的喷灌灌水器，包括具有景观作用（能形成特殊造型）的喷洒器、节能性喷头、适应施肥（施药）灌溉的灌水器等。

5）轻型高性能的移动式喷灌设备。

6）具有精量控制功能的喷微灌灌溉控制设备。

10.6 发展政策与对策建议

针对国内外节水灌溉机械产品与技术的现状、发展趋势、存在的问题等内容，为了有效地发展我国节水灌溉机械技术与产品，对相关企业以及相关单位、机构提出以下建议：

1. 在政府、政策等方面

节水灌溉机械具有农业灌溉必要设备和农业节水重要设备的双重角色。首先，对于靠天吃饭的地区，必须依赖节水灌溉设备来完成农田灌溉，保障粮食安全和社会稳定；其次，农业灌溉又是用水大户，必须开展节水农业，而节水灌溉技术及设备在农业节水方面效果显著。因此，国家和政府需要出台更多的政策，增加节水意识，鼓励农民使用节水灌溉设备；加大对节水灌溉设备生产企业、科研单位的扶持力度，努力改进目前企业现状，增强生产能力，提升制造水平，从而提高我国节水灌溉机械的整体性能。具体建议有以下几个方面：

1）建议进一步加大对节水灌溉设备购买和销售的补贴力度，拓宽补贴产品范围，鼓励农民使用节水灌溉设备。

2）建议普及和提高高水平节水灌溉设备和技术。采用高科技的节水灌溉设备，可以有效提高灌溉生产效率、减轻劳动强度、改善农民生产条件、解放劳动力。

3）建议将节水灌溉机械化水平进行量化，将此量化指标作为农机机械化的重要考核参数，比如用喷灌、滴灌等的面积进行衡量，以此来促进节水灌溉设备以及技术的发展。

4）建议在加大补贴力度的基础上，加强节水灌溉设备和技术的宣传，进行适当的培训，提高使用者的了解程度和素质。

5）建议加大对节水灌溉机械企业的扶持，并鼓励部门相互协调，提升节水灌溉机械企业的市场竞争力。

6）建议加大对科研单位、具有科研能力的机构等的投资力度，努力改善技术缺失的状况等。

7）建议在稳定农业用水优惠政策的同时，因地制宜推出水权政策和级差水价，促进节约、高效用水。

2. 在产品技术研发方面

目前我国节水灌溉机械产品整体水平和国际持平，但在许多方面仍与国外有一定差距，因此，为了适应产品在使用中的要求，提高产品的科技含量，提升产品竞争能力，必须提升产品自身的水平，对于此有以下建议：

1）逐渐实现产品的规模化、系列化和标准化，只有这样才能有利于提升我国产品的整体水平。

2）不论是科研财力、物力和人力，都应不断加大投入，开发具有自主知识产权的节水灌溉新产品，对已有产品不断进行完善、改进。目前国内少数企业有自身的研究开发机构，如中国农业机械化科学研究院、甘肃大禹等。绝大多数企业研究力量不足，因此应更多地走产学研联合以及引进消化的道路。

3. 在产品生产企业方面

1）加大研发力度，争取能研发出具有自主知识产权的新产品。

2）加强生产管理，引进先进的生产模式，苦练内功。

3）加强服务功能，提升农民操作节水灌溉设备的水平。

第11章 育种机械

11.1 概述

种子作为农业生产特殊的、不可替代的、最基本的生产资料，是农业科学技术和各种农业生产资料发挥作用的载体。据有关专家测算，种子在我国农业增产中的贡献率占到30%左右，而发达国家良种对农业增产的贡献率达50%，有什么样的种子就有什么样的产量、什么样的品质，它是农业增产的内因。早在20世纪90年代，农业部就根据我国农业的形势与特点在“全国农业种子工作会议”上明确提出“创建种子工程，推动农业上新台阶”。农作物增产的内在因素是种子，要大幅度提高我国粮食产量，培育、推广农作物优良品种，发挥良种的增产潜力是极为重要的一环。1995年10月，党的十四届五中全会通过的“中共中央关于制定国民经济和社会发展‘九五’计划和2010年远景目标的建议”中明确提出：突出抓好种子工程，实施种子工程，完善优良品种的繁育、引进、加工、销售、推广体系。2010年中央一号文件指出：“切实把农业科技的重点放在良种培育上，加快农业生物育种创新和推广应用体系建设”。可见，育种工程在农业发展中发挥了至关重要的作用。不断选育优良品种，进行良种繁育、推广、提纯复壮已成为农业试验研究的主要课题，而为了完成选育、推广优良品种，农作物的小区育种试验是最重要的手段。

在农作物新品种培育过程中，经常需要大量的育种试验小区，而试验小区的播种和收获作业是育种试验过程中的两个重要环节。以播种来说，该环节工作量大、劳动强度高，播种质量的好坏、播种时机的掌控直接影响到育种试验方案的实施和试验效果。目前，我国小区育种作业大多数采用人工操作方式完成。通常做法是，按设计好的小区试验方案，划出区道，按米尺人工播种。由于主要采用人工操作，加上个体水平的不同，播种效果较差，精确度低。例如：种子的播种深度一致性差，株距合格率不高；同时需要大量人工，压实土壤，甚至会弄错种子和行区，延误农时。原北京农业大学小麦育种组曾经对小麦育种试验的相关资

料数据进行分析，结果表明，人工播种容易造成较大的试验误差。因此，在小区育种过程中用机械化作业替代人工操作势在必行。小区播种机是在小区机械化育种过程中，培养新品种和进行品种对比试验时所用的专用播种机。使用小区播种机进行播种，播量、播深均匀一致，有利于提高出苗质量；可有效减轻劳动强度，提高试验的准确性；可以极大地提高育种工作效率、节省投资，可有效地解决人工育种方式存在的问题。所以，随着我国农业机械化水平的全方位发展，田间育种机械的使用在小区育种中凸显其重要的作用。其中，小区播种机和小区收获机是小区育种产业很好的装备。

世界各国十分重视田间育种试验机械的发展，并对田间育种试验的播种、收获、脱粒和实验室检测机械装备等方面进行了开拓性的研究，全面提高了育种试验的准确性和科学性，同时针对目前全球生态及可持续发展问题对田间育种试验机械也提出了新的要求，以期不断提高田间育种试验的机械化水平。

我国目前对该领域的研究少，投入不足，育种机械的研制还处于起步阶段。尽管如此，田间育种试验机械化在我国已显示了其巨大的优势。原北京农业大学小麦育种中，在导入小区试验机具之前，每年仅有 28 个杂交品系，约 8 个小区被测试。在导入小区播种机和小区收获机以后每年测试的品系达到 191 个。用机械作业时重复小区数据的波动范围仅是手工作业的 39%，变异系数用机械时为 5.9%，用手工时为 8.9%。在充分发挥机械潜力的情况下，一个科学家的工作规模可以扩大 12～14 倍，即可以管理 60～70 亩小区试验田。

作物育种是获得高产、优质新品种的前提，选育一个新品种需要 8～15 年的时间。作物育种试验区管理从播种到收获的整个过程中都普遍存在着工作程序繁琐、人工参与的环节多、劳动强度大、既费工费时又容易造成人为误差等问题。实现作物育种试验区管理机械化，数据获取、加工、评价计算机化，既可保证育种试验的准确性和科学性，也有利于降低试验成本和提高作物育种试验区的工作效率，更主要的是有利于更大发挥育种科学家的潜力，不仅是育种科学家的迫切愿望，也是加快农业发展的重要措施。

国外已形成完整的育种机械研究生产体系，我国目前尚需要作较大努力。加速田间育种机械化是世界育种高科技发展的需要，奥地利温特斯泰格（Wintersteiger）公司主要支持农业院校和科研院所、育种站和种子公司以及国际作物育种、研究试验发展项目，目前它的产品已在世界 100 多个国家的田间育种试验中使用。德国黑格公司是一家国际著名的生产田间育种试验机械的公司，首次发明

了具有自清性能的小区收获机械，同时生产小区播种机械及实验室使用的种子处理设备，并建有自己的研究所、工厂和育种试验站，同时繁育生产各类作物种子并提供良好的技术服务，该公司的产品也在世界 120 多个国家使用，在世界上享有盛誉。随着我国市场经济的发展，建立研究、生产、技术服务和销售为主的研究开发实体，推动我国育种试验机械化发展是当前亟待解决的问题。

目前我国田间育种事业进入迅速发展阶段，而我国小区育种试验机械的发展比较滞后，远远满足不了育种产业发展对小区育种机械的需求，该领域有待着力发展。

11.2 小区播种机与收获机的生产发展概况

11.2.1 国内情况

1. 产品生产情况及主要特点

我国小区育种机械化发展比较晚，小区育种过程主要经历了 20 世纪 60 年代之前的田间育种试验中播种与收获全部由人工完成阶段、20 世纪 60—70 年代的人工与机械相结合阶段。后一阶段在耕作和脱粒方面实现了机械化，并使用了与大田相同的畜力播种机，但由于点种费时，还需要窜行播种，工作效率很低，这一阶段可以说我国没有真正的田间育种试验机具。20 世纪 70 年代末期以后开始进入引进国外机具阶段。引进的机具包括：小区条播机、穗行条播机、精量点播机、谷类作物收获机、玉米专用收获机等。1978 年中国农业科学院系统从温特斯泰格公司引进 Seedmatic 穗行（株行）条播机、Plotspider 自走式小区精播机、Oyjord 小区条播机的数量就达 27 台，这些机具主要分布在中国农业科学院、原北京市农业科学院、黑龙江省农业科学院、山西省农业科学院、北京农业大学（现中国农业大学）、东北农业大学等 16 家单位。此后，机具分别由奥地利、德国和英国引进，其中仅奥地利温特斯泰格公司就有 48 台件。奥地利温特斯泰格公司曾在中国举行过两次全国性大型技术交流会。10 多个单位的使用表明，引进的小区播种机和小区收获机的性能好，株距与行距可达到育种工艺的技术要求，正确操作不会发生混种，与传统手工作业相比，节省了大量的种子和劳力，出苗整齐美观，不需要间苗。

1981 年末和 1983 年春，我国在郑州和石家庄召开了两次田间试验机具会议，1983 年依格尔·奥约德（Egil Oyjord）应农业部邀请在北京农业大学讲学一

周。此次及后续的系列学术活动，为小区试验机械化的理论在我国的传播打下了基础，同时推动了我国小区机械的发展。在引进国外样机的启发下，我国的研究与制造单位开始自行设计与制造小区育种机械，这也标志着我国开始正式进入小区播种机与收获机的研发阶段。

20 世纪 80 年代，我国一些科研单位以引进的小区播种机为基础，研制了一批小区播种机具。如 ZXJB-4 小区精密播种机（黑龙江省农业科学院）、NKXB-1.4 小区条播机（中国农业工程研究设计院、北京农业大学）、2BJ-2 精播机（河北省肃宁县农机化研究所）、XBJ-15 小区播种机（原黑龙江农垦科学院红兴隆科研所）、2XB-10 小区播种机（黑龙江五九七农场三修理所）、2XBX-2.0 悬挂式小区条播机（新疆农垦科学院）、2BJ-2 播种机（河北省肃宁县农机化研究所）和 2BXQ-4 型人力小区试验用播种机。1986 年河北沧州农科所设计制造了单行小区穴播机和双行小区穴播机，使用带有倾斜圆盘的排种器。河南扶沟 1987 年制造了自驱小区播种机；1989 年北京农学院研制了牵引式小区播种机。其中，当时黑龙江农垦科学院红兴隆科研所研制出的 XBJ-15 小区播种机系列，在全国推广了 80 台，产品有小拖后悬挂式和自走式两种。

20 世纪 90 年代我国一些大学、科研部门也针对小区播种机进行了一定的研究工作。如西北农业大学进行了小区播种机用于大田作业的改进研究，使该机能连续均匀供种；北京市农林科学院作物所研制了计算机控制的小区播种机等。2000 年之后，我国小区育种播种机研究成果渐少。最近几年青岛农业大学在此领域崭露头角，2010 年依靠 948 计划项目的支持研制了 2BY-6 型小区育种播种机。该产品集供种、存种、充种、分种、开沟、覆土等功能于一体，解决了我国目前大田播种机存在的伤种、播种不均匀及自净率低等问题，在保证播种机播不同颗粒种子均匀性的同时，降低了伤种率，特别是通过自动供种装置和电控系统提高了试验小区播种的效率和质量，具有良好的应用推广前景。该机器现正在形成产品，2011 年已开始推广使用。

作物育种的试验区收获是育种试验获得可靠结果的重要环节，育种试验区内包含很多小区，其中每一个小区面积很小，所以试验区收获既要提高作业效率，又要防止收获的品种混杂。

目前我国的小区种子收获仍以人工收割或者人工收获加普通脱粒机脱粒的分段收获方式为主。采取人工收割收获期较长，易贻误农时，间接损失大，以至于试验数据的可比性差。采用普通脱粒机脱粒，籽粒破碎率高、损失率高，脱粒机

内部清理困难，种子残留量大，易造成种子混杂，导致试验数据失真。

20 世纪 80 年代我国曾引进国外先进的种子收获机械 10 余台，其售价昂贵，维修费用高，一般单位无法承受。另外，国外育种试验小区的规划与我国有很大的差异，引进的小区种子收获机不适合我国育种试验小区种子收获，育种收获机在我国推广使用困难，至今保有量没有显著增加。目前，我国的小区种子收获机械还处于起步阶段。黑龙江省农垦总局红兴隆农业科学研究所和河南新乡一拖股份有限公司是研制生产我国田间育种收获机械的早期单位，河南省卫辉市种子机械厂、黑龙江省兴凯湖机械厂等少数企业也研制小区种子收获机械，但真正能大面积推广应用的种子联合收获机械目前还处于空白。

2. 产业结构情况

田间育种机械产业属于技术密集型产业。相对国外而言，我国小区育种试验机械的研制工作起步较晚。20 世纪 60 年代以前，我国该领域产品处于空白，无从谈产业规模。从 20 世纪 70 年代开始，特别是 20 世纪 80 年代以后，在引进国外技术的基础上，我国开始研发该领域自己的机型，但由于国家投入少、需求量低等多种原因也没有形成规模，多数产品处于科研成果阶段，形成产品并推广应用的很少，这一时期的工作为我国该领域的研究打下了最初的基础。进入 21 世纪，随着国家育种产业的迅猛发展，田间小区育种机械有了市场需求，加之国家政策对此领域的倾斜，各个大专院校、科研机构、机械企业开始重视田间小区育种机械的研制与生产，有个别机型进行了小批量的生产。但是，在实际的使用过程中，出现了一些新的问题，还需要进一步完善改进。但从整体来看，有初步形成规模性产业的趋势。

3. 市场发展情况与需求、趋势预测

我国各省、市都有培育繁殖种子的研究与试验单位，目前有 2 000 多家种子繁育公司，无论从育种角度还是从田间试验要求上看，田间育种机械的需求量都是很大的。但是，目前的情况是我国小区播种机数量少，品种也不多，远远不能满足众多的农业科研单位的需要。即使是中央与省市一级的研究单位也没有足够的机具可以利用，大部分育种试验区的播种和收获问题仍未实现机械化，大部分研究单位仍采用人工方法完成试验小区的播种与收获，从而直接影响了农业试验的精确性，并占用了大量劳动力。

小区育种机械发展缓慢的原因是多方面的。由于小区播种机与收获机的特殊要求，使得研制投入较多、开发时间长，所以一些单位考虑到经济效益而停止了

小区播种机的研制；由于信息的阻碍，许多育种单位，不知道有可供挑选使用的机器，尤其是不知道国内已经能够生产制造的机具类型；由于进口机器价格昂贵，配件供应及售后服务困难，因此很难用进口机具来装备我国的育种基地；该领域以前没有引起管理部门的足够重视等。像这类高科技汇集的研究项目，需要纳入国家的科研规划，需要国家层面的经费支持，单纯依靠制造厂家的投入开发这类产品是困难的。在市场经济的运转机制下，这类产品由于经济效益与社会效益的长效性，使其很难与立即见效的短线产品相竞争，因此必须对育种机械装备和机械化技术的研究与开发予以扶持。

从整体上来看，我国育种作业的播种与收获机械发展起步较晚，目前还停留在初级阶段。小区育种播种机只有个别少量机型在使用，小区种子收获机械无成型专用的机型，仅有少数小型农机具厂生产小型种子脱粒机及收获机械，且生产率低，性能不稳定，作业质量差，与国外产品相比还有相当大的距离。由此可见，我国育种机械化的发展市场需求迫切，性能良好的小区育种播种和收获机械设备有着广阔的应用前景。进入 21 世纪，随着育种产业的快速发展，田间育种机械装备的机型和质量更是远远满足不了育种产业的需求，因此必须予以足够的重视。

11.2.2 国外情况

从 20 世纪 30 年代至今，国外小区育种机械经历了 80 多年的发展历程，主要经历了三个特征比较明显的阶段。

第一阶段（20 世纪 30 年代—20 世纪 50 年代初）为小区播种机的萌芽发展阶段。第一次世界大战之后，世界农业开始了战后的短暂恢复期，而没有经受战争破坏而机械化水平又相对比较高的北美洲，就成为最早研制小区播种机的地区。1935 年，加拿大成功研制了世界上第一台小区播种机，实现了小区播种机从无到有的重大转折。随后，欧、美、亚等地区一些农业机械化发展水平高的国家，如奥地利、美国、挪威、法国、瑞典、德国、日本和前苏联等也相继开始了研制，1954 年奥地利温特斯泰格（Wintersteiger）公司为一种业公司生产了该公司的第一台简单的小区播种机。由于第一次世界大战和第二次世界大战对农业的影响，小区播种机的研制只是基本的尝试，没有成功的机型延续发展，但在这一阶段，小区播种机应用领域的需要和科研人员取得的阶段性成果，为小区播种机的迅速发展奠定了基础。

第二阶段（20 世纪 50 年代中期—20 世纪 80 年代末）为小区播种机的发展成熟阶段。1955 年，挪威农业大学的依格尔·奥约德先生开始了小区条播机的研制，1957 年冬他设计了一台与 Agria 1700 园艺拖拉机相配套的 10 行小区条播机，1958 年春在挪威农业大学的沃勒贝克（Volle-bekk）试验农场试验。同年冬依格尔·奥约德又设计了 4 行、6 行小区条播机，并在 1959 年的奥斯陆农业展览会上展出。1959 年冬，依格尔·奥约德改进了 1957 年和 1958 年设计的 10 行和 4 行小区条播机，并在 1960 年春挪威麦斯戴德（Mystad）试验农场试验取得了巨大成功，随后开始投入生产。在 1960 年冬，依格尔·奥约德与挪威德勒巴克镇的詹斯 A 斯凯麦克沃克司丹德（Jens A. Schou Mek Verksted）公司合作生产了 20 台 10 行小区条播机和 5 台 4 行小区条播机，开始在各科研单位使用。在 1957—1961 年期间，依格尔·奥约德成功地发明了小区条播机，其核心结构是锥体格盘式排种装置，实现了份量播种，被命名为奥约德（Oyjord）排种装置，一直沿用至今。奥约德小区条播机的成功研制成为了小区播种机发展史上的里程碑，而田间育种机械也开始成为一个独立的学科。1964 年奥约德小区条播机的发明人依格尔·奥约德先生在挪威成立了国际田间试验机械化协会（IAMFE），17 个国家的 71 位代表参加了会议，为小区播种机的迅速发展提供了一个交流的平台，在此次会议上，奥约德小区条播机得到了广泛的认可。1966—1976 年，依格尔·奥约德为了适应小区条播机的发展需要，在 Jens A. Schou Mek Verksted 公司建立了奥约德研发实验室，继续推动悬挂式和自走式小区条播机的发展。1960—1976 年，奥约德小区条播机从挪威出口到了世界的 57 个国家，在 1974—1976 年两年内，依格尔·奥约德将奥约德小区条播机由挪威德勒巴克镇的 Jens A. Schou Mek Verksted 公司转让给奥地利的温特斯泰格公司，所得专利使用费作为 IAMFE 的经费。1972 年美国开始仿制奥约德小区条播机，之后中国、原捷克斯洛伐克、印度、意大利、波兰、土耳其、西班牙、前苏联等国家也陆续开始仿制。在小区播种机的生产企业中，奥地利温特斯泰格公司和德国黑格（Hege）公司的小区条播机为最典型的产品。为了适应不同种子，提高播种的均匀性，在奥约德排种装置的基础上出现了锥体带式与离心回转式排种装置，丰富了小区条播机的产品体系。20 世纪 80 年代初，温特斯泰格公司研制成功了气吸组合式小区精密播种机，实现了单粒排种，1983 年该公司的小区精密播种机获得了世界专利，气吸排种原理一直沿用至今。随着小区条播机、小区精密播种机播种原理的确定以及适合大小、形状、质量不同种子的播种结构和配件的出现，小区播种机

技术基本成熟，产品体系已经形成。

第三阶段（20 世纪 90 年代至今）为小区播种机的性能提高阶段。20 世纪 90 年代后，随着计算机技术、机电一体化与自动化等高新技术的广泛应用，小区播种机也迎来了它的智能化、自动化时代。作为目前世界田间试验机械生产技术最先进的温特斯泰格公司，1999 年成功兼并生产同类产品的德国黑格公司之后，其产品体系代表了世界小区播种机发展的最高技术水平。

温特斯泰格公司早在 20 世纪 50 年代就生产出了第一批麦穗脱粒机和小区播种机，并在 1963 年制造出世界上第一台育种小区联合收割机，其小区收获机械包括：①Nursery-master Elite，第二代小区联合收割机，符合从 F3 后代范围到预繁小区快速而无混杂收获的要求；② Nursery-master Expert，同以前的型号 Nursery-master Elite 相比，其生产效率更高，使用范围更广，可以收获几乎所有可收割脱粒作物（例如：谷物、油菜籽、草籽、细小种子、豆科作物、向日葵、玉米、黄豆和特种作物等），是理想的小区和预繁田联合收割机；③NM1400 固定式小区脱粒机。

德国和丹麦生产的小区收获机械通过更换割台和割刀并进行调整后均可收获水稻、玉米、小麦及牧草种子，对于 20m 长的试验小区，种子收获只需 0.24min，在隔离带停车仅 1min 即可自动清理干净残留种子。同时完成自动清选、自动计量、自动取样、自动装袋及标号等工作。一台收获机械一天可以收获 380 个小区，两人操作，平均每人一天可收获 190 个小区，相当于 0.667hm^2，约是人工田间收获、脱粒作业的 23 倍。

进入 20 世纪 90 年代，田间育种收获实现了计算机化和机械化自动收获，各类农作物、牧草、蔬菜种子在收获时配有脱粒、清选、自动计量设备，能自动清理种子防止混杂，同时计算机自动测量所收获小区种子的水分和千粒重并打印结果，同步完成定时、定量取样，自动化程度高，收获一个 10m^2 的小区平均仅用 15～20s，1h 即可收获 180～240 个小区，田间育种试验机械的现代化推动了农作物新品种的研究、培育和推广。

11.3 技术发展现状与趋势

11.3.1 小区播种机

育种试验过程中的播种作业既有与大田播种相同的要求，如播种深度一致、

落粒均匀、种子与土壤密接等，又有与大田播种的不同之处。育种试验以小区为播种单元，所播的品种多而数量少，要求试验结果的准确性高，故有其特殊要求。归纳起来，小区播种机应满足以下要求：

1）实行间隔播种，在给定的小区长度内，能把一份种子均匀地、全部地播种在规定的行长内，不播种的区段为具有规定长度的间隔道。

2）按小区区长，每份种子在行进中加一次。这一小区的种子不允许带入下一小区。不停车清种换种，即播完每个品种或每个小区后，种子箱内没有剩余的种子。

3）播后田间呈规格化，行与行、小区与小区的纵向、横向齐整，便于田间管理和进行科学试验。

4）在更换和调整较少配件后，排种器能播不同区长的小区和不同品种、不同外形尺寸的种子。

小区播种机主要由排种器、供种装置、输种管、开沟器、复土镇压装置以及机架、行走轮、传动装置、操作机构等组成。其中排种器是小区播种机的核心部件，排种器的播种效果直接影响播种机的工作质量，影响作物的生长。不同的国家和地区在小区播种机的研究开发上都主要是围绕排种器来进行的。

1. 国内技术发展现状与趋势

根据目前的研制状况，小区播种机按小区试验作物种植模式的特点以及试验目的，可以分为小区精密播种机、小区条播机、株（穗）行播种机。

小区育种排种器是小区播种机的核心部件，排种器的播种效果直接影响播种机的工作质量，影响作物的生长。早在 20 世纪 60 年代，挪威农业大学的依格尔·奥约德先生发明了锥体格盘式排种器。当时被制造厂采用，并命名为奥约德排种器，他本人也研制了采用这种排种器的奥约德小区播种机。随后在此基础上发展了各种形式的份量型排种器，常用的有锥体格盘式、锥体带式、锥体离心式、锥体回转式等。20 世纪 70 年代中期，我国科研部门开始着手研制小区播种机，并陆续引进国外的小区播种机，尤其以从奥地利进口数量最多。我国目前小区条播机主要采用的是上述的排种器以及在上述排种器基础上的改进形式。我国田间育种机械发展起步晚，但其发展速度快，对播种机排种器的研究已基本达到国际先进水平。

小区条播机采用的锥体格盘式排种器由锥体、格盘、存种漏斗和底座等组成。工作时，把所要播种的一份种子投入存种漏斗内，随着播种机行进时的振

动，种子在存种漏斗内被振平，提起存种漏斗后，种子沿着锥体的锥面均匀滑落到格盘的每一盘格内，锥体具有极为光滑的表面，利于种子沿其表面均匀滑落。格盘由地轮经锥齿轮副传动而转动，当盘格转到对准底座上排种孔的位置时，盘格内的种子经排种孔、输种管，落入开沟器开出的种沟内。格盘转动一周后，格盘内的种子全部排净。由此可知，只要在播前调整好合适的转动比，保证格盘转动一周，播种机行走轮行走的距离正好是所要求的行长，就可以把投入存种漏斗内的一份种子播在确定的行长内。这种锥体格盘式排种装置每个格盘一般播种一行，多行小区播种机则需要设置与行数相同的排种装置数，由于分别向各个排种装置供种，故也可在各行播种不同品种的种子。锥体格盘式排种装置也可在格盘内设置隔板，把格盘平均分成若干份，每个等分格盘的底座上都有排种孔，如均匀分成三份，则一个格盘可播种三行，减少了排种装置的设置数量。调整传动比时，格盘转动三分之一转即为播种机行走轮所走的行长。若在各行排种装置的上面增设一个锥体分种器，分种器的分种份数与排种装置的数量相同，则成为可播种同一品种的多行小区播种机。锥体格盘式排种装置常因种子中的小杂质进入格盘与底座之间，使格盘托起，降低排种性能，锥体带式排种装置克服了上述缺点。因种子在这种排种装置的楔形环内连续排列，且比较均匀，因此提高了排种的连续性和均匀度。还有另外一种锥体带式排种装置，其锥体表面具有均布的槽沟，目的是提高分种的均匀度。锥体离心式排种装置是在锥体格盘式排种装置的排种孔下，加装了离心式排种装置。工作时，锥体格盘内的种子经底座上的排种孔、漏斗、量孔落到离心分配器的中心位置，并沿着倾斜面下滑。因离心分配器的高速旋转，种子被甩向四周，并进入分配头的各个通道，再由出口经输种管落入到开沟器开出的种沟内。量孔的作用是使种子下落到离心分配器的中心，以提高分种均匀度。播种机上配备具有不同出口数量的分配头和不同大小的量孔，使用时，更换具有不同出口数量的分配头就可以播种相应的行数。锥体离心式排种装置不适用于牧草等小粒种子，因为小而轻的种子在离心式分配器中易产生吸附现象，以致排不尽种子，易造成种子混杂。锥体回转式排种装置转速较低，一般为 300r/min，不会产生吸附现象。锥体回转式排种装置仍属于离心式排种装置，因其转速比锥体离心式排种装置低，故称回转式。近年来，为提高其点播性能，国内不少学者对锥体格盘式排种装置在圆锥体的角度、锥体上开引种槽及引种槽尺寸等方面进行研究，主要目的是实现均匀播种，改善工作性能。

小区精量点播机多采用气吸组合式排种装置及型孔式排种装置。黑龙江省农

业科学院引进的奥地利 Plotspader 小区播种机和自行设计的 ZXJB-4 型小区精播机都采用了气吸组合式排种装置。工作时靠高速风机（5 000 ~ 5 200r/min）在排种装置壳体内造成负压，使种子吸附在径向槽盘上。径向槽盘转动，螺旋盘固定，螺旋盘上开有特殊形状的曲槽。径向槽盘转动到一定位置时，气路被螺旋盘隔断，种子落入与径向槽盘一起旋转的导种轮中，进入开沟器内。这种排种部件对玉米、大豆、高粱、甜菜等大粒种子点播或穴播效果好，对小麦种子精播适应性差，尤其是小麦的清种，要求风机转速在 5 200r/min 以上，噪声过高，同时对风机轴承、传动 V 带的损害很大。将传动 V 带改为耐高速运转的同步带传动，并设置一套自动分离机构，从根本上解决了高速传动时的断带问题（气吸组合式排种装置对种子外形要求苛刻）。例如播玉米时，有些品种粒形不规整，籽粒尖冠容易镶嵌在径向槽盘格槽内，既影响排种精度，又易造成混杂。总之，气吸组合式排种装置对规则粒形的大粒种子点播或穴播效果好，缺点是结构复杂，径向槽盘加工精度高、造价昂贵，不同作物或不同密度要求时要对应不同播盘，更换播盘较费时，排种精度受风机负压影响较大。

型孔式排种装置在小区播种机上的应用主要有两种。一种是结合气力装置的排种部件，种子落入型孔后被一股气流压进型孔轮的穴眼里，型孔轮的存种匣用导板密封，且变窄，从而保证每个穴眼里只剩一粒种子，多余的种子被风吹走。该排种装置可进行等距离点播，包括很小的杂交种子和不规则粒形种子，由于造价昂贵，国产机具采用的不多。另一种是普通窝眼式，该排种装置更换播盘频繁、费时，清种不及时，受传动地轮打滑率影响，间隔道不整齐，适于小型科研单位小面积范围内多品种试验。河北省肃宁县农机化研究所研制的 2BJ-2 精播机采用垂直型孔轮式排种装置，可播种大豆、玉米、高粱、谷子、甜菜及向日葵等作物。

奥约德排种机构为锥体格盘式排种装置，能实现分量播种，任意分量的种子能均匀地播在一个小区上，是小区播种机常用的形式。但其格盘靠地轮驱动，播种长度由手工调节传动带轮的直径进行调节，每次更换小区长度，均需要人工调节机械结构，费时费力，此外胶带老化与打滑也将影响播种精度。多行播种时采用与地轮速度成比例的转速控制离心式分配器旋转，无法考虑不同种子对转速的需求变化。小区播种长度是根据农业科学试验的目的和要求而确定的。播种机通过无级变速机构调节行内种子的粒距。由于机械驱动存在机具地轮打滑等因素的硬性约束，因此播种质量得不到保证，这是这类小区播种机存在的主要缺陷。北

京市农林科学院和青岛农业大学采用电控方案驱动排种装置转动有效解决了以上问题。操作者根据试验小区的打滑率通过计算机键盘设定打滑系数后，再按执行键，然后通过计算机键盘设定小区区长，再按执行键，此时显示器上显示不出打滑率、小区区长和最高限制速度，播种机处于待播种状态，此时即使开沟器与带测速传感器的地轮落下，播种机向前行驶，排种装置也不动作。只有抬起投种漏斗将种子投入排种装置后，排种装置才工作。

电子计算机技术应用于小区育种播种机后，其主要工作部件结构更简单，实用性更强，提高了排种的可靠性。打滑系数可在一定范围内任意设定，进一步提高了小区区长设定的准确性，加之调整和操作极其简便，因此这种小区播种机受到科研人员的重视。这是农业机械机电一体化领域的一次大胆尝试，并将以其远远低于国外同等性能产品的造价占领一定的市场。

从以上分析可知，技术研究主要集中在排种装置和驱动机构上，主要是为了满足小区播种的特殊要求。国内小区播种机采用的排种装置主要为锥体格盘式排种装置和气吸式排种装置。播种方式主要为条播、单粒点播。播种作物主要为大豆、玉米、小麦等。采用锥体格盘式排种装置的小区播种机结构简单，造价低廉，但只能应用于条播。采用气吸式排种装置的小区播种机虽然对点播、穴播的效果比较好，但造价高。

最近几年，随着电子技术和计算机技术的飞速发展，电子监视装置在国内播种机上已被广泛使用。电子监视器可以利用光电信号显示排种轴转动情况，用数字显示每行的播量、单位播量和已播面积累加数，用光信号和声信号对输种管、开沟器的堵塞进行报警等。这些措施的采用进一步提高了小区播种机的工作性能和播种质量，也是未来该方面的发展趋势所在。

另外，在我国许多省份已率先着手研制电子监视装置，目前已取得成效。采用电子监视装置能及时发现和排除故障，提高播种质量，更有利于满足精密播种的需要，提高精密播种的可靠性和一致性。液压技术在精密播种机上也得到了广泛应用。例如，精密播种机上装有驱动排种锥体的液压马达，当地轮滑动时，液压马达起动，以保证排种锥体的转速与机器前进速度相协调。河南科技大学发明了一种滑转监测和补偿装置，能够有效监测和调控由于地轮驱动打滑造成的播种不均匀。还有一些播种机采用液压缸来升降、变换工作状态和运输状态以及用液压缸控制开沟器的起落等。虽然这些装置提高了播种机的造价，但还是很具有发展前途的，这些都是未来技术的发展方向。

2. 国外技术发展现状与趋势

世界上第一台小区播种机于1935年在加拿大研制成功。截至目前有加拿大、挪威、美国、法国、前苏联、德国、奥地利、瑞典、日本和中国等国研制过小区播种机。

国外小区播种机使用的排种装置主要有播种锥体格盘式、气力式和型孔式等。例如温特斯泰格公司的小区播种机T-100与S-300，T-100小区播种机是自走式播种机，S-300小区播种机是悬挂式播种机。上述两种小区播种机均采用锥体格盘式排种装置，该排种装置用于条播的效果较好，用于精量点播时效果较差。挪威研制的播种机首次体现了小区播种的特点，即种子先按小区育种的要求定量装入纸袋，一个小区播完一份种子。奥地利生产的菲约特小区播种机也采用锥体格盘式排种装置，不同之处在于其能将种子三次均匀分配。前苏联研制的小区播种机也采用锥体格盘式排种装置，可以进行玉米、高粱等作物的播种。

气力式排种装置多运用于精量点播机。气力组合式排种装置包括气吸式、气吹式以及气压式三种形式。德国Xoxen大学研制的Plot Aeromat采用的是小型气吹式排种装置，并配备了各种不同规格的窝眼轮，可以播种玉米、向日葵、小麦、大麦、黑麦等作物。法国研制的单粒小区精密播种机采用了气压式排种装置，所不同的是装置的边缘分布着具有若干吸嘴的金属盘。吸嘴与盘内的真空负压相连，当金属盘旋转时，吸种吸嘴可以使真空绝断，种子最终从开沟器中排出。该播种机可以播种小麦、大麦、黑麦、菜豆、玉米、向日葵及油菜等作物。美国生产了一种与拖拉机配套的马铃薯小区播种机，其采用链勺式排种装置，它安装在拖拉机前后轮之间，两个操作者的座位架在拖拉机的纵梁上略低于拖拉机驾驶员的座位。这种设计使得拖拉机驾驶员视野开阔，而操作者便于观察装种。

除了对排种装置进行研究外，近几年来，德国和奥地利的育种机械公司已成功地研究了智能化的小区播种机械，即采用电子计算机将田间试验小区种植图和田间机械行走路线编入电子计算机中，将各试验小区的种子装入弹夹式播种盒中，小区播种时，电子计算机自动地将每行种子准确地播入小区中，整个田间播种工作只需一人操作机械即可完成，极大地提高了育种试验的准确性。

其他技术方面国外也有较大发展。如奥地利温特斯泰格公司的播种定位控制器（GSC）的使用，实现了高精确度和监控功能的播种，不需要使用划印器；小区精密播种机上的种子电子监控器可以登记每个从播种元件落入开沟器的种子，从而获得每行播种的种子数量；小区数据的记录功能可以将小区播种的信息如日期、

时间、地块名称、行驶模式、每次行程播种的小区数、种槽数量、株距、设置的速度、路径长度等存储到计算机的 PCMCIA 卡上；子控制器的调节功能可以使分种系统适应坡地自动调平。此外，在小区播种机上可以配备现代化的 GPS，播种的精准性得到了进一步提高。发达的机械化技术与新兴的智能化控制相互结合，成功地实现了小区播种机的人性化、智能化、自动化、现代化与精准化，表明小区播种机的技术水平正随着科学技术的进步而向着更高的层次发展。

11.3.2 小区收获机

小区收获是育种或其他田间试验获得正确试验结果的重要环节。小区收获与大田收获不同，单个小区的面积小，而且整块地内又包含很多小区和品种，所以既要提高作业效率，又要防止品种混杂。

小区收获机具随收获方式的不同而异，常用的有联合收获和分段收获两种方式。联合收获是采用联合收割机一次完成收割、脱粒、籽粒与秸秆的分离、籽粒清选等工序。联合收获效率高，损失小，但操作技术和机具购置费用高。分段收获先由人工收割或用收割机收割，把收割后的作物运回场院，再用脱粒机完成脱粒、籽粒与秸秆的分离、籽粒清选等工序。分段收获的损失大，但机具的购置费用低。上述两种方式在小区收获中都有使用，但目前主要采用联合收割机。用于小区试验的联合收割机主要用于收获麦类作物，若更换割台和某些工作部件，并进行相应的调整后也可收获水稻、玉米及牧草种子等。

用于小区的联合收割机，除了一般所要求的收获损失小、脱粒净、破碎少、效率高外，最主要的要求是：①一个小区或一个品种收获结束后，应能对机体内各部分进行方便、迅速、干净、彻底的清扫，使机体内没有遗留的籽粒，以防止品种混杂；②采用装袋的方式卸粮，便于各小区或各品种的种子分别收存；③整机结构简单，操作灵活，以适应小区作业。

小区联合收割机的收割对象多样，有穗行区、株行区、品种比较区及大面积的种子繁殖区等。因此，小区联合收割机也有多种类型，目前生产的小区联合收割机基本可分为三种类型：

1）收获品种的小区联合收割机，主要用于收获麦类作物的穗行、株行小区的品种，这种小区联合收割机体积小，轴距短，操作灵活方便，具有可靠的自净能力，其割幅一般为 1.25m。

2）通用小区联合收割机，主要用于面积较大、收获量较多的小区收获，这

种小区联合收割机的生产率较高，具有可靠的自净能力，其割幅一般为 1.5m。另外，除了收获谷类作物外，更换上玉米割台后，也可收获玉米。

3）重型小区联合收割机，主要用于大面积的种子繁殖区或产量试验区的收获，这种小区联合收割机的体积较大，配备有较大功率的发动机，因此生产率高，采用粮箱卸粮，其割幅一般为 2m。

用于小区收获的联合收割机，其构造和工作过程与用于收获大田作物的联合收割机基本上相同，一般由割台、脱粒装置、分离装置、清种装置、粮箱或装袋机等组成。

1. 国内技术发展现状与趋势

我国在 20 世纪 60 年代之前主要靠手工作业进行育种，小区种子收获手工作业，工作效率十分低下。20 世纪 80 年代我国引进了国外先进的小区种子收获机械 10 余台，其售价昂贵，维修费用高，一般单位无法承受。而且国外育种试验小区的规划与国内有很大的差异，引进的种子收获机不适合我国育种试验小区的种子收获，推广使用困难，至今保有量未进一步增加。

1995 年中国农业工程学会成立了田间育种试验机械化专业委员会，在专业委员会的组织和支持下，有少数小型农机厂和科研机构生产小区种子收获机械。黑龙江省农垦总局红兴隆农业科学研究所和河南新乡一拖股份有限公司是研制生产我国田间育种收获机械的主要单位，多年来一直进行着小区种子机械的研究和推广工作。目前，我国自主开发的小区收获机械产品主要有以下几种。

1）由黑龙江省农垦总局红兴隆农业科学研究所研制的 SZTY-450 型移动式种子脱粒机，采用风扇式圆盘叶轮，喂入时谷物被叶片抓取，并随叶轮旋转作离心扩散运动，在叶片的梳刷打击和谷物层间摩擦的作用下脱粒，切向进入圆柱形开式钉齿滚筒进行分离和复脱。其主要技术特点如下：防混杂特性好，每脱完一个品种机器空转 30s 即可，不需人工清机；对小麦、大豆、水稻、高粱和玉米等作物均有良好的适应性，当作物湿度较大时，仍可获得较好的作业质量。

2）黑龙江省农垦总局红兴隆农业科学研究所设计的小区联合收割机，采用自行底盘，其技术特点是在田间可一次完成切割、脱粒、输送、分离、清选、装袋等作业环节，主要用于收获麦类作物。该机采用上下双层割台，上割台为卧式割台，由偏心拨禾轮、往复式切割器、螺旋搅龙等组成。下割台为立式割台，由扶禾器、往复式切割器、输送带和机架等组成。上、下割台左右方向错开 10cm，上割台偏向待割麦田，下割台偏向已割麦田，以保证下割台切割的茎秆中不混有

未切割的谷穗。上割台相对于下割台向前伸出，以保证上割台先切穗，下割台后切茎秆。两割台由四杆机构连接在一起，上下可以联动，由液压系统升降；两割台的上下相对位置还可以调整，以适应作物不同的穗幅差。机器工作时，卧式上割台的分禾器将作物分为待割和不割两部分，偏心拨禾轮将待割作物拨向切割器，被割刀切断后的带短茎秆的谷穗倒向螺旋搅龙，并被其输送至割台右侧的出口处。与此同时，立式下割台的割刀将上割台割剩的下部茎秆切断，并由输送带送至左侧铺放在田间。另外，在设计小区联合收割机的脱粒清选机构时，放弃了普通联合收割机上常用的链耙、筛子、螺旋输送器、逐稿器等一些易产生死角、不易清扫的部件，采用了气流输送和气流清选机构，没有死角，不用清机就可保证不混种。

3）河南省卫辉市种子机械厂生产的 QKT-320A 型小区种子脱粒机、KT-200A 型单株（穗）种子脱粒机，两产品的生产效率高，破碎率低，含杂率低，易清机。

4）黑龙江省兴凯湖机械厂研制的 KT-0.1 型种子脱粒机轻便、高效、不混种，适于多种作物种子的脱粒作业。用该机处理作物，从脱粒到取出装袋仅需 1min，可保证种子的纯度和发芽率。

从 1983 年国际田间试验机械化协会（IAMFE）主席依格尔·奥约德教授来华讲学开始，30 年来我国的小区作业机械有了很大的发展，但未能形成体系，与国外产品相比还有相当大的差距。目前，我国的小区种子收获仍以人工收割、普通脱粒机脱粒的分段收获方式为主，采取人工收割，收获期较长，贻误农时，间接损失大，以至于试验数据的可比性差。采用普通小麦脱粒机脱离，籽粒破碎率高、损失率高，脱粒机内部清理困难，种子残留量大，易造成种子混杂，导致试验数据失真。

为了缩短与国外产品的差距，更好地为我国的田间育种事业服务，我国的小区种子收获机械应该从以下几个方面进行研究：

1）小区种子收获机械应该向自走式的联合收获机方向发展。应能一次性完成收割、脱粒和清选、包装，并具有高脱净、低破损、防混种、便清机的特点。

2）向机电一体化和智能化发展。谷物联合收割机的产量自动计量和产量图自动生成技术是我国农机装备机电一体化、信息化研究的优先发展方向之一。

3）向多功能化发展。小区种子收获机械既复杂又精密，犹如科学试验仪器，价位较高而需求量无法与大田机械相比。还存在一台机械年内的作业时数

少，即淘汰更新周期长的问题。目前小区试验的联合收获机主要用于收获麦类作物，若更换割台和某些工作部件，并且进行相应的调整后也可以收获水稻、玉米及牧草种子等，则会大大提高机具的利用率。

4）走引进与开发相结合的道路。近 20 年，中国的小区作业机械有了很大的发展，但未能形成体系，与国外产品相比还有相当大的距离。虽然有国外育种试验小区的规划与国内有很大差异，引进的种子收获机不适合我国育种试验小区种子收获，但是在发展小区联合收获机时还应吸收国外先进的技术、成熟的经验，缩短研究时间。

2. 国外技术发展现状与趋势

国外对小区种子收获机械的研究和生产比较早，技术比较成熟与先进。在小区收获方面，主要是借鉴了传统谷物联合收获机的成熟经验，重点是小型化、智能化。提高小区联合收割机的自净能力，保证机体内任何位置都不残留一粒种子，防止品种混杂。为此，国外在技术上主要采取防止残留籽粒的措施，常采用的技术有：

1）采用前宽后窄、前低后高呈梯形的斜面割台，使被割倒的作物倒放在割台上后，由作物输送带直接送入脱粒装置内，省去了其他如螺旋推运器、板条、帆布带式及金属制的倾斜输送器等容易残留种子的装置，且便于清扫籽粒。在割刀梁后加装一排吹气孔，辅助落粒、散粒种子的吹送。

2）单独设置了割刀和拨禾轮的传动离合器，当收割完一个小区后，通过离合器切断割刀和拨禾轮的传动，使之停止工作，此时联合收割机可以停在小区间的通道上继续进行脱粒、清种和清扫等工作，以免打击和切割下一小区的作物。

3）机体内表面和内部各部件之间的连接处，都尽量设计成光滑的表面和圆弧形过渡，避免死角和台阶，避免存种的可能性。

4）采用气流输送器或带式输送器输送种子，以代替其他形式的机械式输送装置，减少存种的可能性和对种子的伤害。

5）清种装置中采用可变速的风扇，当收割完一小区后，可以加大风扇的风量，以清扫清种装置内各处的残留籽粒。

6）收割机上专门设置有空气压缩机和清洁吹送系统，利用其产生的高压气流清扫机体内各处的残存籽粒。

另外，为了使小区联合收割机操作灵活，前进、后退方便，许多小区联合收割机上采用液压驱动，可以实现无级变速，前进、后退的转换也很方便。在所有

可能挂住作物的地方，包括螺钉头，都进行了圆滑处理；机身设置了许多入口孔，使机内各个部位都能伸手可及。

目前德国黑格公司、奥地利温特斯泰格公司、丹麦霍尔公司等设计生产的小区种子收获机械都已达到了国际先进水平。温特斯泰格公司是专门生产用于农作物研究、遗传育种科学试验系列机械的企业，其产品在全球特别是欧洲农机行业享有很高声誉。该公司在1963年制造出世界上第一台育种小区联合收割机。

德国和丹麦生产的小区收获机械技术也比较先进，通过更换割台和割刀并进行调整后均可收获水稻、玉米、小麦及牧草种子。收获效率高，20m长的试验小区，收获只需0.24min，在隔离带停车仅需1min即可自动清理干净残留种子，同时完成自动清选、自动计量、自动取样、自动装袋及标号等工作。一台收获机械一天可以收获380个小区，两人操作，平均每人一天可收获190个小区，相当于0.667hm^2，约是人工田间收获、脱粒作业的23倍。

在国外，智能化的小区联合收获机已在田间育种中广泛应用，其显著标志就是在田间作业中实时智能测产。这种智能化的小区收获机可在育种田收获过程中将小区的种子进行称重、计量并测定种子含水率，同时计算出干重，并迅速计算、打印出小区的产量数据，整个试验小区试验的平均数、变异系数和显著性都由计算机计算出来，同时汇总成表，在整个收获完成后即可结束试验和数据处理的全过程。

小区收获技术上，目前对谷物产量的自动计量所采用的方法主要有体积流量法和质量流量法。美国主要采用冲击式载荷测量法，这种方法易受机器振动影响，产生较大的测量误差。德国采用容积式光电测量法，该方法会受到机器倾斜及谷物湿度的影响，为了确定谷物的质量流量，还必须测定谷物的密度和含水量。英国麦赛福格森（Massey Ferguson）公司研制生产的产量自动计量系统，采用γ射线吸收原理，进一步提高了精度。

此外，小区试验的数据处理方面也达到了较高水平。田间育种试验最关键的环节是小区的数据处理，小区试验数据的准确、科学是作物品种审定推广的重要依据。美国、德国、英国、法国等世界发达国家已全面实现了田间试验数据的计算机处理，即在田间试验过程中，计算机根据小区设计的田间种植图、实际种植情况及作物生长情况，把具体的小区分布转变为一维的小区顺序，并把采集的数据存储在收获期间的便携式计算机内，然后把这些数据转移到位于试验地点的台式计算机中，进行认真的核对和校正，并永久存储数据的统计分析结果。

美国、德国、法国等国家在田间育种试验播种和收获过程中应用专门的计算机系统进行数据的自动化采集和处理，这样从原始数据的采集到由计算机统计分析得出结果，两者之间的时间很短，而且采集的数据科学准确，避免了人工抄写计算和数据转移过程中的误差，极大地降低了成本和提高了结果的真实性。

11.4 存在的问题分析

11.4.1 设计制造技术落后

育种试验区机械化对于作物育种、提高育种研究的精确性具有重要意义。我国作物育种试验区机械的研制工作虽然取得了一定的成绩，但与国际先进水平相比，育种试验区管理机械化的发展水平还只是处于发展阶段，设计、加工水平还比较低，主要问题是材料质量还不够稳定、机型简单、机器使用可靠性差。特别是由于制造企业受到市场需求量的制约，难以在高新技术制造能力上投入，一些关键部件的制造技术落后不过关，使产品工作性能下降。国外公司如德国黑格公司、佩特库斯公司，奥地利的温特斯泰克公司均已采用计算机人工智能机床加工机械设备关键零件，采用最新激光自控机床进行剪切、冲孔。设计过程已全部采用计算机辅助设计。在这一方面，也有这些公司的产品在全球销售的总量促进制造技术能力和水平提升的深层次原因。

11.4.2 技术、生产体系不健全

小区播种机的作用决定了作业时要应对小区要求的种子品种播种量等试验因素的改变或者调整，而且在下一小区开始播种前，排种器内不能存留种子，以排除前一小区对后一小区潜在的影响，其技术要求较大田播种机更高，而利用率、生产率低，作业环境要求高，这些都是小区播种机发展亟待解决的瓶颈问题。虽然我国小区播种机在 20 世纪 80 年代取得了一些成果，但大部分在 90 年代就已经闲置，我国各科研机构对小区播种机的研制工作投入的人力资源很少，研究资金注入有限，无法实现科研机构之间、科研机构与企业之间、机械与农艺等不同学科之间的合作，取得的科研成果多为“单点开花”，无法集中人力资金的优势，制约了全面核心技术体系、生产体系的发展，阻碍了更大范围的“产、学、研”相互结合的综合科技创新体系的形成。目前，田间育种机械的研究、开发还没有引起各级有关部门足够的重视，像这类汇集机械、电子、农艺、计算要求

的高科技研究项目，光靠制造厂家的投入开发是比较难的，应纳入国家的科研计划中予以研究开发实施。

11.4.3 推广应用体系存在特殊性

在小区机器推广普及的工作中存在一些问题。由于小区机械既复杂又精密，犹如科学试验仪器，价位较高而需求量无法与大田机械相比。此外一台机具年内的作业时数少，而其使用年限又长，一般可达 30～40 年，即淘汰更新周期长。这就给依靠这类产品生存的企业带来了很多难以解决的问题。批量小，很难纳入生产线生产。售量少，提高了销售成本，又由于订单的不稳定，使生产的稳定性受到严重影响。

农业机械大部分产品的推广应用对象为农民，而小区播种机与收获机作为田间试验机械，不能作为一般农业机械推广给农民，使用对象主要是科研人员。其特殊性导致了小区播种机应用范围窄，利用率不高，淘汰更新循环年限长，发展市场不大而且不稳定。小区播种机作为一种产品，其发展离不开供求关系的影响，价格高需求量少而且不稳定直接影响推广应用体系的形成。

11.4.4 产品综合程度低，类型单一，主要组件灵活性差

我国小区播种机与收获机的生产企业少，产品的类型单一，综合程度低，通用架设部分设计不完善，无法实现各类产品之间的相互转换，大大增加了作业成本。我国小区播种机主要为小区条播机，播种作物基本相同，仅适用于麦类、豆类、玉米等作物种子，无法形成所有作物的小区条播机产品体系，而小区精量播种机没有成型的产品问世。与国外同类小区播种机产品相比，我国小区播种机的主要组件灵活性差，其主要表现为：没有应对不同地势环境自动调平的装置，没有应对不同土壤的开沟器和应对不同作物的多重进料方式，这使得小区播种机工作的稳定性与播种的均匀性受到了一定影响。

11.4.5 政策保障体系尚未建立

政策保障是促进产品能够继续发展的重要推动力。从 2004 年开始，国家把农机购置补贴列入重点支农政策之后，提高了农民购买农业机械的积极性。而目前小区播种机和收获机没有政策保障，这使得本来经济效益就很低的小区播种机和收获机更难保持其正常的研发生产、推广及应用。

11.5 技术和产业发展思路与规划

世界各国十分重视田间育种试验的机械化发展，并对田间育种试验的播种、收获、脱粒和实验室检测机械装备等方面进行了开拓性的研究，从而加快了培育新品种的繁育效率，特别是计算机在育种试验机械上的广泛应用，全面提高了育种试验的准确性和科学性，同时顺应目前全球生态及可持续发展的需要，对田间育种试验机械也提出了新的要求，以期不断提高田间育种试验的机械化水平。

同发达国家相比，我国小区播种机和收获机的发展还存在不小的差距。为了缩短与国外产品的差距，更好地为我国的田间育种事业服务，在研究过程中应充分了解国际上技术发展的最新趋势，及时进行参考借鉴，同时也要考虑我国的具体情况。我国在发展小区播种机与收获机的研究中应注意以下几点。

11.5.1 尽可能“一机多用”，扩展适应性

我国小区播种机与收获机近年来发展不理想的一个重要原因就是专业性太强，一般只适合科研单位和育种公司使用，限制了小区播种机与收获机的使用范围，社会需求量相对较小。因此，不少生产厂家考虑到经济效益，对研制生产小区播种机积极性不大。研制“一机多用”的小区播种机与收获机可以满足其他场合的工作需要，提高其使用价值，从而为生产单位创造更高的经济效益，客观上也促进了小区播种机与收获机的生产与普及。对于从国外引进的设备，有条件的单位也应进行“一机多用”的尝试，避免设备经常闲置。例如，西北农业大学对从奥地利引进的小区精密播种机进行了用于大田作业的改进研究，提高了该机的利用率，值得相关单位借鉴。

11.5.2 向自动化和半自动化方向发展

计算机和自动控制技术在农业机械上的应用日益普遍，发展机电一体化的小区播种机产品具有重要意义。例如，北京市农林科学院作物研究所研制了计算机自控小区育种播种机，经过两轮样机试制，取得了较好的试验结果。由于电子计算机技术的应用，该小区播种机的排种可靠性增强，驱动轮打滑系数可在一定范围内设置，使得播种小区的长度设定更加准确。还有，青岛农业大学 2010 年研制的 2BY-6 型小区育种播种机也已通过国家鉴定，该机通过自动供种装置和电控系统提高了试验小区播种的效率和质量，而且具有明显的性价比优势，具有较

好的应用推广前景。

小区种子收获机械应该向自走式的联合收获机和智能化的小区种子收获机方向发展。应能一次性完成作物的收割、脱粒和清选，并具有高脱净、低破损、防混种、便清机的特点。在机器的研究设计过程中注意喂入量的控制以及脱粒滚筒转速与喂入量之间的匹配关系。例如，在检测喂入量的同时应实时测控滚筒转速，根据喂入量变化及实际转速相对于设定转速的偏差，通过液压系统和无级变速器控制滚筒转速。

智能化的小区种子收获机在育种田收获过程中应可以对小区的种子进行称重、计量并测定种子含水率，同时计算干重、存储并迅速计算打印出小区的产量数据，整个小区试验的平均数、变异系数和显著性都由计算机计算出来，同时汇总成表，这种智能化的小区收获机在整个收获完成后即结束试验和数据处理的全过程。产量自动计量和产量图自动生成技术是机电一体化、信息化研究的优先发展方向之一。

小区田间育种机械囊括的作物已从谷物发展到牧草、林业等诸多领域，应根据小区田间育种作业各环节的技术要求，针对不同育种作物确定科学合理的机型，并在此基础上应用液压技术、电子技术和信息技术，改造传统技术，促进我国小区田间育种机械向自动化、数字化、信息化和智能化方向发展。另外，还要十分注意生物技术与工程技术的紧密结合，把我国小区田间育种机械的研究与开发引向一个新的高度。

11.5.3 加强对国外先进技术的引进、消化、吸收

目前，世界上小区育种试验机械的发展水平已经达到了机械化、智能化、现代化的程度，其成熟先进的技术为我国小区播种机的发展提供了很好的借鉴。加强对国外先进技术的引进、消化、吸收是有效促进我国小区育种试验机械化发展的良好渠道。例如，2008 年由青岛农业大学主持申请的国家 948 计划项目“柔性精密播种机综合技术的引进”，对国外先进的小区播种机技术进行全面调研，结合我国目前小区播种的实际情况，引进研发新型的小区播种方式。该项目 2010 年研制出的 2BY-6 型小区育种播种机已通过国家鉴定，该机解决了我国目前大田播种机存在的伤种、播种不均匀及自净率低等问题，保证了播种机在播不同颗粒种子均匀性的同时，降低了伤种率，特别是通过自动供种装置和电控系统提高了试验小区播种的效率和质量，而且具有明显的性价比优势，具有较好的应

用推广前景。

11.5.4 在研究开发的同时注意推广工作

我国近年来的研究成果有不少还停留在试验阶段，没有能够进一步形成产品投放市场，这是我国大部分农业试验区机械播种问题得不到解决的原因之一。黑龙江省农垦总局红兴隆农业科学研究所和黑龙江省农业科学院栽培所在推广方面做得比较好，它们将研究的 XBJ-15 种子播种机和 ZXJB-4 小区精播机先后投入市场。

11.6 对策建议

为提高播种机与收获机制造水平和市场竞争力，促进我国田间育种试验机械化的发展应在如下几个方面给予足够重视。

11.6.1 积极开展作物育种试验区机械化理论研究

国际田间试验机械化协会的专家对作物育种试验区进行了调查，对其边界效应等进行了分析，不仅为试验区机械的设计提供了基础数据，而且为今后育种专家对小区的布置提供了依据。对作物育种试验区机械化的研究涉及基础理论，试验区播种、栽培与收获，计算机技术与模拟以及土地整备等技术，已取得许多重要成果。通过对种子生理特点、物理特性的分析，为试验区播种机、收获机等机具的设计提出方向性意见也是我国当前条件下应重视的问题，只有这样才能从根本上提高育种机械化水平。

11.6.2 加强相关产业之间的沟通

目前，我国育种机械化水平较低，有一个主要原因是育种行业与机械行业的沟通还不够。小区育种机械化行业发展潜力大、前景广阔。实现育种试验区机械化是我国农机行业迫切而艰巨的任务，需要有关部门的重视和广大科技人员长期坚持不懈的努力。我国田间试验机械化的发展，必须要有创新，要有中国特色。还要注意生物技术与工程技术的紧密结合，这样才能把我国田间试验机械化的研究与开发引向一个新的高度。

11.6.3 加快开发和引进适用的产品

积极投入人力和物力进一步研发适合我国国情的新产品，加快产品的更新换

代。同时，根据需要有计划、有步骤地利用低关税引进国外先进的关键产品或工艺配套技术，努力提高我国的播种机质量水平，增强国际竞争力。最近几年，在此方面青岛农业大学已经做过有益的尝试，取得了良好的效果。

11.6.4 加强与外商合作，吸引外资

高质量气吸式单粒精密播种机和硬茬联合播种机等产品在我国还属空白。吸引外商，引进先进技术，共同开发适应我国国情的播种机产品，通过逐步实现技术本地化，加快我国播种机产品的升级换代，促进整个制造行业水平的提高，跟上世界播种机行业发展的步伐。

我国是一个育种大国，自 20 世纪 50 年代我国育种事业开始蓬勃发展，为小区育种试验机械的发展提供了有利条件，发展潜力很大。在国家的政策扶持、引导下，以国外先进技术为借鉴，以我国目前田间育种试验机械技术为基础，从各应用单位的实际需求出发，产、学、研结合，逐渐构建良好的田间育种试验机械装备产业体系。在这种环境下，随着小区试验机具核心力量的逐渐强大，我国该领域的发展将逐步适应我国蓬勃发展的育种事业的要求。

第 12 章　农产品产地商品化加工机械

12.1　概述

农产品产地商品化处理，是农业生产和工业化加工之间的接续产业。从农业生产过程看，是产后延伸环节，也是确保农业产出的最后一道工序；从农产品加工过程看，又是决定农产品效益的第一道工序。一方面关系着农产品增值、农民增收的实现，另一方面也关系着农产品质量安全、消费者利益和加工企业降本增效的实现。研究农产品产地商品化处理既是解决农业产业面临重大问题的基础，也是推动农产品加工业健康发展的重要保障。成功实践表明，提升农产品产地商品化处理水平是延长农业产业链，带动农业产业化水平和农业综合效益全面提高的有效途径。我国是人均资源相对不足的国家，人均耕地面积不到世界平均水平的 1/3，大力发展农产品产地商品化处理技术和装备，可进一步提高我国农产品增值减损能力、提高能源和农业资源的利用效率，推动技术进步和产业的发展，是新时期我国农业产业发展的重要战略之一。

农产品产地商品化处理，是促进农业发展方式转变和实现可持续发展的重要手段。2010 年我国规模以上农产品加工产业产值突破 10 万亿元，企业从业人员达 2 500 多万人，其中吸纳农村劳动力 1 500 万人以上，农民直接增收 2 800 亿元。农产品加工业产值与农业产值之比由“十五”末的 1.1∶1 提高到 1.6∶1 左右，但与发达国家的（2～3.5)∶1 相比还有较大的差距。农产品产地商品化处理技术与装备的差距则更大。农产品产地商品化处理是农产品加工产业的重要环节，大力发展农产品产地商品化处理技术和装备，可有效降低农产品产后损失、提高商品化率和入市品级，通过延伸产业链条，提高农产品附加值，是增强农产品市场竞争力的重要手段。

农产品产地商品化处理技术是综合利用农业、化学、机械、电子、控制、信息技术和生物技术等于一体的交叉技术，农产品产地商品化对农产品加工产业的发展起着举足轻重的作用。党的十七届三中全会指出：农业科技创新要适应农业

规模化、精准化、设施化等要求，应加快开发多功能、智能化、经济型的农业装备设施。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》也指出：延长农业产业链，带动农业产业化水平和农业综合效益的全面提高；重点发展产后减损产业化关键技术。《国民经济和社会发展第十二个五年（2011—2015 年）规划纲要》提出：推进农业技术集成化、劳动过程机械化。《农业装备产业科技发展“十二五”重点专项规划》也提出针对我国农产品产量大，加工转化率低，产后损失浪费严重，资源利用不足现状的农产品产地商品化处理关键技术与装备开发。因此，适应国家中长期战略发展需求，积极开展农产品商品化处理关键技术与装备的研究，对提升我国农产品商品化处理装备的现代化水平，大幅提高能源和农业资源利用效率，提升农产品增值减损能力，都具有十分重要的现实意义。

1. 发展农产品产地商品化处理技术和装备是加快农业发展方式转变和提升国家现代农业水平的重要举措

随着经济水平的不断提高，现代运输业的发展，信息技术、自动化技术和智能化技术等在农产品流通领域的渗透，农产品的流转种类和数量不断增加，农产品的全球化特征日益明显。欧美国家和日本等国在实现农产品产地商品化处理、提升农产品价值方面均有先进的技术和成套的装备支撑，特别是在农产品的清洁、分级、包装、干燥、畜禽屠宰、产地储藏等众多环节已有成熟的技术和装备，从而实现农产品商品化、集约化处理，提高了农产品的产品附加值，增强了农产品的市场竞争力。

与此相比，我国在农产品产地商品化处理环节方法落后、设施简陋，损失浪费十分严重，与发达国家相比还有较大的差距，亟待通过科技项目的支持，得到快速提升。在科技创新的背景下，随着技术的不断发展和进步，高新技术也不断向农业行业渗透，必须要全面创新农产品产地商品化处理技术和装备，为农业发展方式转变提供支撑。

2. 发展农产品产地商品化处理技术和装备是提高农产品附加值、增强农产品市场竞争力的重要手段

传统农产品产地商品化标准化生产水平低，技术、设备及手段较为落后，尚有未经任何商品化处理的农产品直接进入市场，难以保证农产品品质和安全，缺少市场竞争力。在一些发达国家，已形成了完整的农产品产地商品化体系，借助现代农产品物流技术，实现了农产品的增值，通过标准化生产，借助全球化市

场，大大提升了农产品的市场竞争力。欧美地区发达国家的农产品进入市场前大都需要经过专门认证机构的严格考核并贴标，蔬菜、水果的市场价格可以提高25%～30%，大大增加了农民的收入。另外，经过商品化处理的水果、蔬菜，损失程度由原来的20%～30%降至5%以内。现在发达国家已经100%实现了蔬菜商品化处理，使农民的利益得到了保证。

3. 发展农产品产地商品化处理技术和装备是提高农业资源和能源利用效率的重要途径

农产品产地商品化处理各环节的技术和方法落后、设施简陋，给农产品带来十分巨大的浪费和损失，据专家测算和实证分析，产后农产品损失相当于全国年浪费1.4亿亩耕地的投入和产出。以粮食为例，我国粮食年总产量约5亿t，据统计，我国粮食收获后脱粒、干燥、储存、运输等过程的损失高达15%，远远超过联合国粮农组织规定的5%标准。通过农产品产地商品化处理技术的开发和装备研发，将有效减少农产品的损失和浪费。农产品产地商品化处理大量使用能源，通过研究高效农产品产地商品化处理技术，优化农产品产地商品化处理流程和工艺，充分利用自然能，将有效提高能源利用效率，实现节能、降耗和绿色生产。我国人多地少，资源短缺，农产品产地商品化处理装备的研发必将对我国农业资源的高效利用起到重要的推动作用。

4. 发展自主知识产权的农产品产地商品化处理技术和装备是提升关键装备国产化水平的有效保障

发达国家农产品产地商品化处理已经形成了完整的技术体系，对应不同的农产品，已经形成了较为完善的处理工艺、手段和相关装备。目前，我国农产品产地商品化处理整体水平还较为落后，特别是还缺少对农产品商品化处理关键技术的研究与装备开发，一些关键技术和装备还完全依赖国外进口，成套设备价格从几十万至上千万元，核心部件维修还需要专门人员，大大增加了农产品的生产成本，降低了市场竞争力，亟待通过农产品产地商品化处理技术和装备的研发，突破国外产品的市场垄断，提升关键装备的国产化水平。

国内农产品产地商品化处理技术和装备开发相对国外起步较晚，但发展迅速，在粮食烘干、农产品分级、储藏等方面均取得了相应成果。同时，经过我国学者的不懈努力也有相当多种类的农产品产地商品化处理装备开发成功并应用于生产实践中，取得了显著的经济、社会和生态效益，为提高农产品的增值减损能

力、提高能源利用效率、农业产业化及农民增收致富作出了积极的贡献。

12.2 类球形水果产地商品化处理机械

人类对农业多功能的需求将主导农业的发展方向，未来农业不仅将继续发挥其保障食物安全和人民生计、支撑国民经济发展的传统功能，而且将担负起提供再生能源以缓解全球能源危机、为人类提供优美生存环境和高品质生活等新的历史使命，使全球农业进入一个新纪元或“新农业”时代。我国农产品供求情况也将发生比较大的转变，至2050年，我国的水果、蔬菜、食油、食糖、畜产品、水产品和饲料粮需求将显著增长。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中，“农产品精深加工与现代储运”和“多功能农业机械与设施”被列为农业重点领域的优先主题。在《农机工业发展规划（2011—2015年)》中将“农业产业化所需的农产品加工成套装备”列为重点发展领域。我国政府和科学家们对此问题的重视程度由此可见一斑。

水果在我国已成为继粮食、蔬菜之后的第三大种植业，在农业和农村经济发展中的地位已十分重要，在很多地区已成为农村经济的支柱产业。自1993年以来，我国水果产量及面积一直稳居世界第一。据中国果品流通协会统计，2009年我国水果总产量2.04亿t（含果用瓜)。2010年统计苹果、柑橘、梨、桃、葡萄、香蕉、红枣、柿子、荔枝、龙眼、菠萝、猕猴桃12种水果总产量12 865.2万t，瓜类产量8 536.2万t。苹果、柑橘、梨、桃年产量分别为3 326.4万t、2 645.3万t、1 505.7万t、1 045.6万t，这四大水果产量占到园林水果产量的66.3%。另外，葡萄、香蕉、红枣、柿子年产量分别达到854.9万t、956万t、446.8万t、285.6万t，荔枝、龙眼、菠萝、猕猴桃年产量超过100万t。

随着人们生活水平的不断提高，消费者对鲜果质量的要求越来越高，不仅要求果实外观好看，而且要求内在质量好、果实无污染，这使得优质高档水果不仅价格高、销路好、经济效益高，而且国际竞争力也强。根据韩国的一份市场调研(表12-1)，1998年消费者在选购水果时考虑水果糖度指标的占29%，而到2003年则提高到47.3%，占所有考虑指标的首位。

表12-1 顾客购买水果时考虑的主要指标 (%)

年份	糖度	新鲜度	价格	安全	产地	大小	颜色	形状	营养
1998年	29.0	27.2	26.5	10.0	—	2.4	1.2	0.3	3.5
2003年	47.3	28.6	15.1	2.6	1.8	1.6	1.5	0.9	0.5

对果品进行采后商品化处理，是果品从数量型向质量型、健康型发展的需要，也是增强市场竞争力、扩大出口的需要。国外水果产业强国多年的生产实践表明，实现自动化的果品采后商品化处理，包括预冷、储藏保鲜、清洗、检测分级、包装等技术环节，最大限度地保持了果品的营养成分与新鲜程度，延长了储藏寿命，能获得最大的经济效益。国外水果产业强国果品采后商品化处理率达90%以上，而我国不足40%。近些年来我国的水果采后商品化处理能力虽然稳步提高，但与国外相比，仍然存在较大差异。因此，要实现我国水果产业的优质高效发展，必须进一步加大采后商品化处理技术的研究与开发力度，尤其是根据大小、颜色等外观指标以及糖度等内部品质对水果进行自动无损检测分级的高档设备的研制等。

12.2.1 生产发展概况

1. 国内情况

（1）产品生产情况及主要特点　我国现有的水果机器分级方法基本上可分为两大类：以机械分级判断装置为主的机械分级方法和以光学测量装置为基础的水果品质检测和分级方法。前者以机械判断装置为主，或者通过孔、间隙等方式来判断水果大小，或者是通过杠杆比较机构来判断重量，然后通过适当的机构进行水果分级。后者为光电式检测分级机，检测时不需要与水果直接接触，检测过程为无损检测。光电式检测分析方法目前主要有：利用水果通过光电检测器时的遮光量来测量其外径和大小，或者通过水果内部成分对不同波长光的吸收来判断水果内部成分含量或内部缺陷，而以机器视觉技术为基础的分级机则利用摄像机拍摄水果图像，通过对水果图像的分析处理，计算出水果的面积、直径等多种参数，可一次完成水果大小、色泽、表皮光滑度、果面缺陷和损伤等多方面的品质检测，然后控制相应的分级机构，使水果分别聚集到所属的类别中。

1）机械式分级机。

① 水果大小分级机。这种分级机的工作原理一般是利用孔、间隙等方式来判断水果大小，然后根据果实横径的大小进行分级，具体的方式有滚筒式、传送带式和链条传送带式等。这种分级机的优点是结构简单、故障少、工作效率高，缺点是分级精度不够高。由于果实的横径和纵径大小不同，在运动过程中容易滚动，机械有时不是按横径而是按纵径进行分级，特别是果形不整齐时，更容易发生偏差。由于果实在分级机上受摩擦的时间较长，所以对容易受伤的果实不宜使用。

网孔式水果大小分级机是使水果通过大小不等的孔来进行分级的。水果从左侧进入分级机，在运动的带或滚筒上有大小不一的孔，孔径从左至右依次增大，水果在带或滚筒上运动时，直径小的水果先下落，大的后下落，这样就实现了水果分级。图 12-1 和图 12-2 所示为典型的滚筒式水果大小分选机。

图 12-1　恒新牌 GTF 型滚筒式分选机

图 12-2　CPH-1200 型滚筒式柑橘分选机

间隙式水果大小分级机利用辊或带之间的间隙来实现水果的大小分级，有多种形式。图 12-3 所示为典型的圆盘式水果大小分选机。圆形工作台中心凸起，

图 12-3　TN-16 型圆盘式水果分选机

并以一定的速度旋转，在工作台边缘，有一固定的环形挡板，该挡板下沿相对工作台倾斜安装，并与工作台之间形成连续变化的间隙。工作时，水果紧靠着挡板随工作台一起旋转，到达一定的位置时，挡板与工作台之间的间隙如果能容水果通过，则水果在离心力的作用下滚出工作台，到达相应的分级区，完成水果的分级。图 12-4 所示为典型的带式小果实分选机。该机由两条橡胶带或罩有塑料的链条或辊子组成，它们之间相互不平行，两者之间形成逐渐加大的间隙，水果在带间随带输送时，当带间间隙超过水果直径时，水果就掉在下方相应的位置中。通常前后带轮中心距达 3 ~4m，以保证工作间隙变化不致过快。分选时，两带速度可不相同，使水果在带间输送时产生一定的旋转，主要用于小型果实的分选。另外，还有一种利用分级辊和输送带组合形成的间隙式水果大小分级机。工作时分级辊作匀速转动，输送带作直线运动，当果实直径小于分级辊与输送带之间的间隙时，则顺间隙掉入水果槽，直径不同的果实通过不同的间隙落到相应级别的水果槽中。

图 12-4　XGJ-XXHS 型带式小果实分选机

② 水果重量分级机。水果重量分级机是根据水果重量进行分级的。水果重量的检测可采用多种方法：平衡杆、弹簧秤、电子秤、抛掷等。

平衡杆式重量分级机利用天平杠杆原理，即在杠杆一端设有砝码，另一端为承果盘，当承果盘上的水果重量大于砝码时，杠杆失去平衡，承果盘倾翻，水果落入相应的分级口，完成水果的分级。图 12-5 所示为一种典型的平衡杆式果品重量分级机，分级精度为 2 ~2. 5g。

电子称重式分级机的核心部分为微机和称重传感器，执行机构为带继电器的电磁铁。其基本原理是：盛有水果的果盘从称重传感器上通过时，微机采集来自称重传感器的信号，进行一定的处理后，得到与实际重量相符的信号，按预定的条件进行判断得出结果，并同步跟踪水果，在一定的分级位置向执行机构发出信号，控制继电器的开启，使果盘完成卸果动作。可按需选择准确的分级基准，分级精度高。图 12-6 所示为一种典型的电子称重式水果分选机，共有两个通道，生产效率为每小时 8 ~10t，单果称重偏差不大于 2% 。

图 12-5　BFJ-C50 型平衡杆式果品重量分级机

图 12-6　宝石牌 MVFS-W2 型电子称重式水果分选机

2）光电式分级机。

① 水果大小分选装置。利用水果通过光电系统时的遮光量测量其外径和大小，按照水果的大小实现分级，光电式大小分选装置的最大优点是不损伤果品。图 12-7 所示为检测单元示意图，由水果 1、输送机构 2、光发射装置 3a、光接收装置 3b 组成。光发射装置 3a 由多个光发射单元 3a1 组成，按等间隔排列在水果高度方向上，同样，光接收装置 3b 由多个光接收单元 3b1 组成，并与光发射单元 3a1 一一对应，当水果通过光发射装置 3a 和光接收装置 3b 之间时，由于水果的遮挡，会打断部分从光发射装置 3a 发射到光接收装置 3b 的光束，计算这些被打断光束的高度就能测量水果的大小。

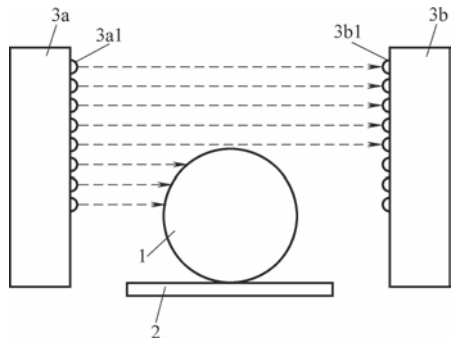


图 12-7　水果大小检测单元示意图

1—水果　2—输送机构　3a—光发射装置　3a1—光发射单元　3b—光接收装置　3b1—光接收单元

② 基于可见/近红外光谱分析技术的水果内部品质检测分级机。根据水果内所含各种成分在近红外区域的吸收特性，当近红外线照射到水果时，一部分被反射，一部分被吸收，通过分析与待测成分相关的吸收光谱，利用回归分析等统计方法及计算机技术，可以检测水果内部物质的含量以及内部缺陷等内部品质。

可见/近红外光谱的分析测定技术大体可以分为三大类：全透射光谱法、半透射光谱法和反射光谱法，如图 12-8 所示。

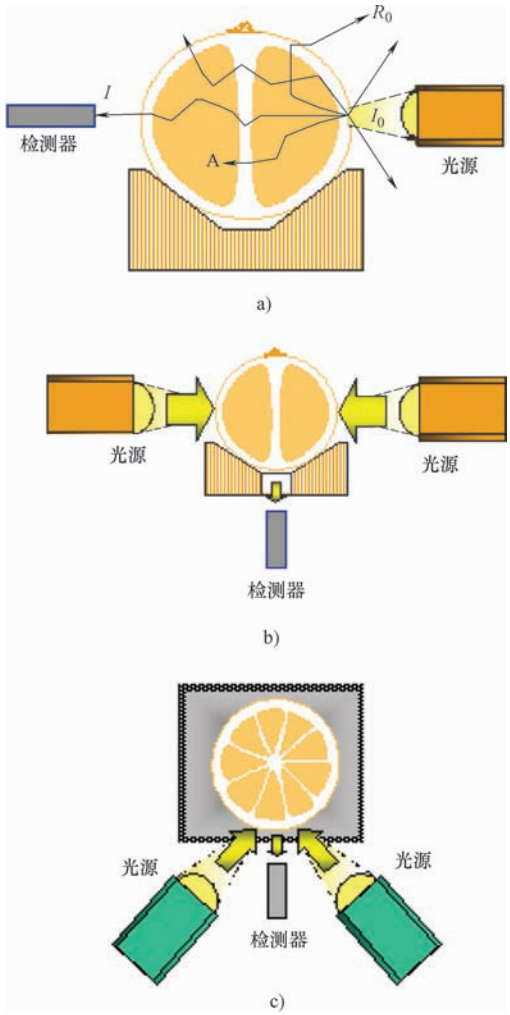


图 12-8　可见/近红外光谱的分析测定方法

a）全透射光谱法　b）半透射光谱法　c）反射光谱法

物体对光的反射分为镜面反射（常规反射）与漫反射。镜面反射时，光并未与样品内部发生作用，所以这种光不带有分析样品的组成信息。而漫反射光是

分析光与样品内部分子发生作用后的光，负载了样品的结构和组成信息。接收到的光与发射的光的比即为反射率。反射光谱分析时，检测器与光源置于待测样品的同一侧，检测器检测到的分析光是光源发出的入射光投射到物体后，以各种方式反射回来的光（图 12-8c）。由于待测样品的大小对反射率影响很小，所以比较容易实现在线检测。但是，由于能检测的部位是被检测体的一部分（从反射光得到的信息是果皮处果肉的信息），对于不同部位糖度差别较大的水果来说，该方法的检测精度容易受待测样品被检测位置的影响。

透射型方法可以检测像橘子、哈密瓜、西瓜之类的厚果皮水果的内部品质。从方法上来讲，用全透射光谱法进行果物的检测是理想的。但是这种方法应用于西瓜、哈密瓜等较难透过光的果物时是有困难的；另外，不同种类果物采用的输送系统是不同的，为此根据果物种类和输送系统的不同可以采用全透射型和半透射型两种方式。全透射光谱法由于发射光部分与接收光部分是相对安置的（图 12-8a），故基本上检测的是被检测体的全部。另外，由于对输送系统的限制比较少，所以容易实现在线实时检测，但是只适用于橘子等容易透过光的果物。半透射光谱法是将光源照射到被检测物体的侧面，内部散乱的透射光（携带有组分和结构的信息）通过用于放置被检物体托盘上的通孔，被下方安置的检测器接收（图 12-8b）。用这种方法得到的被检测物体的内部情况不是被检测物体的全部，而是被检测物体的下部。这种方法不仅适用于哈密瓜和西瓜，而且还适用于落叶果树水果（苹果和梨）以及果皮特别厚的晚柑橘类水果。由于此方法能获取反射光谱法所不能得到的果肉损伤、苹果含糖量等内部品质情况，所以近年来广泛应用于落叶果树水果的检测。

图 12-9　线上型光电水果品质分级系统

在我国，有多个研究团队开展了基于可见/近红外光谱的水果内部品质无损检测研究，我国台湾大学生物产业机电工程学系于 2007 年成功开发了线上型光电水果品质分级系统（图 12-9），分级速度可达 90 个/min 以上，相关系数为 0.84。浙江大学智能化生物产业装备创新团队于 2010 年成功研发了基于可见/近红外光谱的水果糖度在线无损检测分级生产线样机（图 12-10）。

图 12-10　水果糖度在线无损检测分级生产线样机

③ 基于机器视觉的水果多品质检测分级机。美国制造工程师协会（Society of Manufacturing Engineers，SME）机器视觉分会和美国机器人工业协会（Robotic Industries Association，RIA）的自动化视觉分会对机器视觉下的定义为："机器视觉是通过光学的装置和非接触的传感器自动地接收和处理一个真实物体的图像，以获得所需信息或用于控制机器人运动的装置"。

在现代工业自动化生产中，机器视觉技术在产品检验、生产过程监视及零件识别等方面得到了广泛的应用。而在农业方面的应用主要有农业机器人、农业遥感分析、粮食及水果的品质检测等。机器视觉在水果品质检测与分级方面优势明显：能保证检测结果的一致性，保证检测精度，特别是在表面缺陷面积计算、着色面积计算等方面，更有非人力所能及的优势。因此，将机器视觉技术应用于水果品质检测后，将大大减少劳动力的投入，并可按用户要求对水果进行分级，使得每一级的水果具有相同的外观和品质，对降低水果商品的生产成本，提高其市场竞争力，具有非常现实的社会和经济意义。另一方面，机器视觉技术在水果品质检测方面的应用，为机器视觉技术研究开拓了新的研究领域，丰富了机器视觉技术的内涵，具有很高的理论价值。国内基于机器视觉的水果外观品质检测分级生产线生产企业主要有杭州杭挂机电有限公司、江西信丰绿萌农业发展有限公司和扬州福尔喜果蔬汁机械有限公司。

浙江大学智能化生物产业装备创新团队经过近 10 年的研究积累，在国家 863 计划、国家自然科学基金和浙江省科技计划的支持下，与杭州杭挂机电有限公司合作，于 2004 年研制成功国内第一条完全拥有自主知识产权的基于计算机视觉的水果品质智能化实时检测与分级生产线，能对水果的果径大小、颜色、形状、表面缺陷及重量等进行动态在线检测与分级，是光-机-电一体化产品。典型产品有两通道分选线（如图 12-11 所示，每小时处理量为 5 ~ 8t）和四通道分选线（如图 12-12 所示，每小时处理量为 16 ~ 20t）。

图 12-11　两通道分选线

图 12-12　四通道分选线

扬州福尔喜果蔬汁机械有限公司成立于 2004 年元月，主要产品有柑橘分选生产线和苹果分选生产线。图 12-13 所示为 GJB06 型苹果分级机，苹果产量可达 2 ~ 3 万个/(通道 · h)，重量精度达 ± 1g，大小误差为 ± 1mm，形状、颜色及表面缺陷分辨精度 ≥ 98%，苹果串级率、碰伤率≤3%。

图 12-13　GJB06 型苹果分级机

(2) 产业结构情况　在果品采后商品化处理中，检测分级技术环节是使果实真正成为商品的一个重要关键环节。果实分级方式可分为大小分级、重量分级、色泽和重量双重分级及色泽、重量、缺陷等智能化分级。按大小分级，是最原始的方法，将逐步被淘汰。重量分级是目前国内普遍使用的方法，采用微机控制的重量分级机，可按市场和用户方的需要方便地设计分级要求，分级精度高，速度快，生产线投资较小。色泽和重量双重分级设备在国内已有拥有自主知

识产权的产品和一些国内外公司合资开发的产品，虽然设备投资相对较大，但能对水果的果径大小、颜色、形状、表面缺陷及重量等进行动态在线检测与分级，使得每一级的水果具有相同的外观和品质，能大大提高其市场竞争力，经济效益可观，已在国内大型果业企业采用。

（3）市场发展情况与需求、趋势预测　水果采后商品化处理是果品规模化、专业化、商品化生产的一个主要环节。因为水果是直接入口的食品，基于卫生、安全和美观的考虑，未经商品化处理的水果是不能作为商品出售的。水果采后商品化处理又是果品采收后的再增值过程，包括预冷、储藏保鲜、清洗、打蜡、检测分级、包装等技术环节。对果品进行采后商品化处理，可最大限度地降低其呼吸代谢，减少营养损失，延长储藏期和货架期，实现优质优价，获得最大的经济效益。我国目前对水果的采后商品化处理还不够重视，大量的果品未经采后商品化处理仍以原始状态上市，不分等级，没有精细的包装和预冷等措施，再加上储藏、运输设备不完善，水果的采后损失非常严重，大约 1/3 的产品在到达消费者手中之前烂损，造成了人力、物力和财力的极大浪费。

根据估计，在北美有超过 30% 的水果作为商品化处理后的等外品被用于加工罐头和果汁，原因是“样子不太完美”。比如说，苹果的个头太小，梨的颜色不对，或者水果表面有缺陷、果品形状奇怪等。这一类的果品即便是摆在超市里，绝大部分还是卖不出去，最终也逃不掉被丢进垃圾堆的命运。在这样一个全球食品短缺、食品价格火箭式上升的时代，无论是种植者、包装者、分销商、零售商还是消费者，都希望减少这种浪费。因此，研制色泽、形状和重量等多重分级的高档处理设备，促进水果采后商品化处理对整个水果产业至关重要。

2. 国外情况

（1）产品生产情况及主要特点　发达国家的水果采后商品化处理经历了人工清洗、打蜡、分级、包装和机械化清洗、打蜡、分选、包装流水线作业两个阶段，逐步向综合应用多波段图像处理、声学检测、近红外光谱检测、计算机程控技术的智能化精选、分级、包装阶段发展。产品主要有色泽、形状、大小、缺陷和重量等多重品质检测分选设备、基于近红外光谱的水果内部品质检测分选设备和基于声学检测的水果成熟度/硬度检测分选设备三大类高档设备。

1）多重品质检测分选设备。在国外，基于机器视觉技术的水果多重品质检测分级技术与装备的研究已相当成熟，研发公司主要有澳大利亚 GP 格瑞德斯

（GP Graders）、法国迈夫诺达集团（MAF RODA）、新西兰康派公司（Compac）、意大利尤尼泰克公司（Unitec）、荷兰格瑞伐公司（Greefa）和阿维塔公司（Aweta）、美国富美实公司（FMC）和意大利萨莫（Sammo）等公司。以法国迈夫诺达集团和新西兰康派公司的产品为例进行介绍。

① 法国迈夫诺达集团产品。迈夫诺达集团从1962年起就开始在法国西南部最大的水果种植区制造机械式分类机，从1989年开始在全球拓展它的业务。现在该集团在全球范围内已经形成了一个由17个子公司和40个代理公司组成的活跃的网络。迈夫诺达集团拥有8个设备制造工厂和4个工程及设计部门，主要包括：机械设计、电子系统、自动化系统、设备制造、设备在用户工厂内的安装和全球范围内的设备售后服务等。自2006年以来，迈夫诺达集团在我国已经安装了60多条适合各种水果和蔬菜的分选设备，占有了70%以上我国新增进口设备的市场份额。2006年7月，法国迈夫诺达集团在我国烟台设厂，即迈夫诺达机械设备（烟台）有限公司。2008年，迈夫诺达集团的年销售收入是9 073.2万欧元，已成为全世界最大的果蔬处理设备制造商之一。

迈夫诺达集团设计和制造不同类型的分选机，检测输送通道可有1～10条、分级出口可有1～64个，可以分选从番茄到西瓜等不同类型的水果。通道的数量决定生产线的水果加工处理能力，每条通道每秒可以处理10～15个水果，而出口的数量则决定机器可以分等分级的数量。图12-14所示为法国迈夫诺达集团生产的Pomone Universal产品，该产品能用于检测水果颜色、横径、密度、形状指数、糖度、硬度等多种指标。目前该公司主要新产品有以下几种。

图12-14　法国迈夫诺达集团生产的Pomone Universal产品

a. 2009 年研发的新一代产品 Globalscan® V（图 12-15）。每条通道上拥有一台彩色和一台红外线照相机，采用 LED 照明技术；每个水果会拍摄多张彩色照片和红外线照片，涵盖整个表面。可以进行水果横径或者最大直径、色彩以及表面缺陷的检测。每条通道每秒可以处理 15 个水果，自 2009 年推出以来已在全球安装 300 多条。

b. Lemonscan。结合高光谱技术（Hyper Spectral Techniques）、传统的颜色分布图（Conventional Color Maps）、可见和近红外 LED 技术、偏振滤光镜（Polarization Filters）等技术实现柠檬的形状、颜色和缺陷的检测分级。

c. Viotec 紫外技术，在 Globalscan 的基础上安装紫外技术（Ultra-violet LED），主要用于检测柑橘类水果由于虫害引起的早期不可见的腐烂，从而减少后期的大量腐烂与损失。

图 12-15　法国迈夫诺达集团生产的 Globalscan® V

② 新西兰康派分选设备有限公司产品。康派公司成立于 1984 年，已有 27 年的历史，前 5 年主要研发重量分选线，从 1991 年开始为全球的用户提供水果分选及相关的设备，1993 年研发出新的滚子输送系统，实现了水果翻转、单列化及光学检测。目前在新西兰、韩国、乌拉圭、巴西以及意大利均设有生产基地，销售及技术服务网络遍及中国、美国、澳大利亚、新西兰、阿根廷、智利和欧洲。独有的先进技术令康派公司在蔬果分拣领域始终处于领先地位，尤其在美国（苹果和柑橘分拣）及新西兰（猕猴桃分拣），康派公司更是行业中的佼佼者。图 12-16 所示为康派公司的典型产品 InVision 9000（2001 年），该产品能 100% 检测整个水果表面，能实现对水果的颜色、重量和表面缺陷的检测，检测速度为 12 个/s。2003 年成功安装了一条 40 通道、长 60m 的 InVision 9000 生产线，水果生产速度为 400 个/s。目前在全世界已安装了 200 多条 InVision 9000 生产线。

图 12-16　新西兰康派公司生产的 InVision 9000

2）水果内部品质检测分选设备。在基于可见/近红外光谱分析技术的水果内部品质检测分级技术与装备研究上见有报道的主要有：澳大利亚 CVS（迈夫诺达集团子公司）、荷兰阿维塔公司、新西兰康派公司［味技（Taste Technologies Ltd）的技术］、意大利尤尼泰克公司、荷兰格瑞伐公司、意大利萨克米公司（Sacmi）和日本精机［SS Seiki（Shibuya 集团子公司）］、视佳（Saika）和 Mitsui Kinzoku 等公司。以日本 Shibuya 集团和新西兰味技的产品为例进行介绍。

① 日本 Shibuya 集团产品。20 世纪 80 年代早期，日本开始研究和开发近红外光谱技术，其中筑波国家食品综合研究所被认为是日本近红外技术研究的先导者。据统计目前在日本已有 2 000 多条水果糖度分级生产线用于 550 多个水果产后商品化处理厂家。主要研制厂家有 SS Seiki（Shizuoka Shibuya Seiki）、Saika 和三井金属（Mitsui Kinzoku）：日本 SS Seiki 公司（http：//www. shibuya-sss. co. jp）1992 年启动水果糖度近红外检测系统的开发，1995 年成功开发出用于柑橘糖酸度的无损检测系统。与精工 S. I. Seiko 公司同属于 Shibuya 集团。该公司开发的近红外水果内部品质检测系统设有恒温控制设备及自动校准装置，可保证在稳定的环境条件下长时间进行数据采集。检测器波长范围为 650 ~ 1 050nm，处理速度为 1 ~5 个/s，报道的糖度检测精度（RMSEP）为 0. 5%。日本 Shibuya 集团的近红外检测系统产品如图 12-17 所示。

② 新西兰味技公司产品。新西兰康派公司安装的 NIR 检测系统由新西兰味技公司提供。味技公司于 2000 年 9 月成立，主要开发的产品有：Taste Tech T1（透射模式，如图 12-18 所示）、Taste Tech R2（反射模式）、Taste Tech M2（反射模式）。

图 12-17　日本 Shibuya 集团的近红外检测系统产品

图 12-18　Taste Technologies Ltd 开发的 Taste Tech T1 检测系统

3）水果成熟度/硬度检测分选设备。在基于声学特性的水果品质检测分级技术与装备研究上，主要有荷兰格瑞伐公司和英国辛克莱（Sinclair）公司。英国辛克莱公司从贴标机研发起家，目前已推出 Sinclair iQ^{TM}型硬度在线检测系统（图 12-19），水果检测速度达到 600 个/min。

图 12-19　英国辛克莱公司生产的 iQ^{TM}型硬度在线检测系统

图 12-20 所示为荷兰格瑞伐公司开发的 IFD 成熟度检测分选设备。在水果分类的过程中，成熟度探测器会对水果进行 9～20 次检测。这种智能成熟度探测系统已经成功地运用于苹果、鳄梨、芒果、桃子和猕猴桃等的检测。检测速度为 5 个水果/（通道·s）。

（2）产业结构情况　以美国为例，美国水果产业是农、工、贸一体化的体制，产、储、加、销配套成龙。家庭果园往往都拥有冷库、气调库、分级包装间和各种机械等配套设施。果品采后很快用汽车运到储藏库。进库前，先用含杀菌剂药水冲淋清洗，然后按计划出库的时间，分别进冷库或气调库储藏。一般 3 个月内销售的果品入冷库，3 个月以后销售的果品用气调库储藏。所有果品在销售前，都要通过包装间进行清洗、打蜡、分级、贴标、装箱处理。分级时达不到鲜

图 12-20　荷兰格瑞伐公司开发的 IFD 成熟度检测分选设备

食国际特优、优、一级 3 个等级的苹果，在分级线上就淘汰出来，运到加工厂制作果汁。上述各个环节的产业链相辅相成，共同促进着水果产业的发展。为了提高农业的效益，美国基本上不直接销售初级产品。农产品加工体系强大，农产品经过精选、加工、包装后销售，价值都提高 1 ~ 10 倍。

区域化、机械化是国外水果产业集约化的重要特征。区域化规模栽培是发挥地区优势和品种优势的捷径，如美国元帅系主要在华盛顿州生产，华盛顿州苹果占全美总产的一半左右，日本长野、青森两县富士产量占到日本富士总产的近 80%，意大利苹果生产集中在北部的两个峡谷，而新西兰苹果生产集中在北岛的北哈维诺（Havelock North）和南岛的瑞维卡（Rivaka）地区。机械化是提高劳动生产率的重要途径，欧洲水果的产前管理以及产后的分级、包装、储藏等方面都不同程度地采用机械化操作，尤其是根据大小、颜色及可溶性固形物含量对水果进行自动检测分级的商品化处理技术，不仅保证了商品的一致性，而且为后续的储藏保鲜奠定了基础。

（3）市场发展情况与需求、趋势预测　发达国家的水果采后商品化处理经历了人工清洗、打蜡、分级、包装和机械化清洗、打蜡、分选、包装流水线作业两个阶段，逐步向综合应用多谱段图像处理、近红外光谱检测、计算机程控技术的智能化精选、分级、包装阶段发展。目前主要向商品化处理成套设备、多重功能的检测分级设备以及大规模化的商品化处理生产线发展（如美国圣派西飞克斯·马里科帕 Sun Pacific's Maricopa 公司在安装一条 20 通道的分选线后又计划安装一条 84 通道的分选线）。

12.2.2 技术发展现状与趋势

1. 国内发展现状与趋势

（1）产品技术

1）产品品种比较单一，以机械化大小分级机、电子称重分选机为主。

2）基于机器视觉技术的多重品质检测分级机的高档产品还较少。

3）产品规模较小。

（2）装备制造技术　由于我国水果产后商品化处理还处于逐渐发展的进程中，并且我国水果生产方式分散，水果生产经营管理模式多样化，针对市场多变及产品个性化需求，许多生产线的制造企业还是采用基于订单的小批量生产方式，还没有实现精益生产。

2. 国外发展现状与趋势

（1）产品技术

1）高新技术广泛应用，高新技术包括多波段图像处理技术、高光谱技术、声学检测技术、紫外技术、多相机同步检测技术、光电检测技术、自动控制技术、机器人技术以及电子技术等。

2）产品品种多样化并成套化，包括自动卸果、清洗打蜡、检测分级、贴标、自动包装等。

3）产后商品化处理技术与储藏保鲜技术相结合。

4）高度重视水果资源综合利用和环境保护。将商品化处理后淘汰的果品加工成罐头和果汁。

5）产品向大规模化发展，8 通道、12 通道、20 通道和 40 通道的产品已越来越多。

6）产品已从起初的简单的大小分选发展到电子称重，再发展到色泽、形状大小和重量多重品质检测分选，目前发展到侧重水果内部品质（糖度、酸度、内部缺陷）、口感（硬度）、成熟度的无损检测。

（2）装备制造技术　在发达国家，大多数企业都应用了企业资源计划（Enterprise Resource Planning，ERP）系统。其主要特点体现在两个方面：其一是精益生产（Lean Production，LP），由于实现了大批量生产，企业在组织生产时，把客户、销售代理商、供应商、协作单位纳入生产体系，企业同其销售代理、客户和供应商的关系，已不再简单地是业务往来关系，而是利益共享的合作伙伴关

系，这种合作伙伴关系组成了一个企业的供应链，从而实现精益生产；其二是敏捷制造（Agile Manufacturing），当市场发生变化，企业遇有特定的市场和产品需求时，企业的基本合作伙伴不一定能满足新产品开发生产的要求，这时，企业会组织一个由特定的供应商和销售渠道组成的短期或一次性供应链，形成“虚拟工厂”，把供应和协作单位看成是企业的一个组成部分，运用“同步工程（SE）”组织生产，用最短的时间将新产品打入市场，时刻保持产品的高质量、多样化和灵活性，从而实现在市场上始终处于领先地位。发达国家的多数企业都在致力于把最新技术融入设计和生产，实施精益生产的原则，提高机器人技术的使用和自动化水平，用精准的计划、标准的流程、快速的响应周期来实现“即时完美的交货”。

如法国迈夫诺达集团每年将集团销售收入的 2% 投入到新技术的研发。迈夫诺达集团拥有 8 个设备制造工厂和 4 个工程及设计部门，迈夫诺达集团控制着全部的工作，包括：机械设计、电子系统、自动化系统、设备制造、设备在用户工厂内的安装和全球范围内的设备售后服务工作等。迈夫诺达集团分布在欧洲、美洲和澳大利亚的技术中心可以通过远程控制技术 24h 监控其他国家用户分选线的使用状况，以指导工程技术人员对用户的服务。

12.2.3 存在的问题分析

我国在果品产地商品化加工处理方面与欧美地区的国家相比还有很大差距，存在如下主要问题：

1. 水果产后加工处理程度不高

发达国家果品采后商品化处理率达 90% 以上，现代果品采后保鲜处理和商品化处理技术、“冷链”技术、现代果品加工技术等已广泛应用于该产业，并建立了完善的产业技术管理体系，果品经产后商品化处理和深加工可提高附加值。而我国果品商品化处理率还不足 40%。

2. 水果生产产业化和标准化程度低

我国的水果生产多数以家庭为单元，组织化程度较低，新技术和标准化的技术应用确实很难达到同国外一样的规模化程度。要以现代工业理念为指导，逐步提高水果生产的产业化程度，使水果生产同高度专业化、机械化、标准化和规模化发展。

3. 加工设备落后

我国果品加工设备与技术水平滞后，难以满足行业发展需要。大型、高速的成套设备主要是由某些大集团依赖进口建设的。近几年来，国内引进了许多国际一流的果品加工生产线，实际应用中存在许多需要改进以适应国产品种的问题。如关键易耗零部件依赖进口往往耽误加工，果杯部件对水果的适应差，品质检测的近红外核心设备国内仍没有掌握设计和生产技术。因而急需加大科研投入，特别是高端产品的技术研发力度，加快形成一批拥有自主知识产权的高档产品。

12.2.4 产业技术发展思路与规划

水果采后商品化处理具有改善果实外观，提高商品价值，延长货架期的重要功能。从全产业链方面考虑，重点强化产后预冷、冷链与气调储藏、表观分级、保质物流技术和设备的应用，着重加强品质分级技术和设备的研究与产业化，集成产品溯源技术，构建水果采后商品化处理工程装备技术体系。构建公司 + 果农、专业市场 + 果农、市场 + 加工企业 + 果农、合作经济组织 + 果农等商业运行模式，形成研产供销的联动。制定鼓励政策加强生产过程的统一服务管理、产品的统一收购储藏、统一商品化处理、统一物流和销售，统一标准和品牌，以塑造我国水果优质优价的整体形象，提高市场竞争力。

12.2.5 对策建议

1. 提高水果采后商品化处理率，实现水果生产的产业化经营

加大果品采后储运加工力度，使我国果业由数量效益型向质量效益型转变。加大科研投入，加强重点技术研究，重点在果品采后储藏保鲜与商品化工程处理、传统果品加工工业化、品质安全性控制与产业化、果品生产加工过程快速检测和无损伤检测与产业化、果蔬加工机械设施与包装等方面取得突破，促进产业升级；培育果品加工与物流骨干企业，加速果品产、加、销一体化进程，形成果品生产专业化、加工规模化、物流社会化的产业化经营。

2. 实行税收优惠

落实果品加工业享受国家支持粮食加工业发展的各项税收优惠政策。适当降低果品加工企业增值税的税率和提高可供抵扣的进项税率，减少流通环节的税率征收。

3. 提高果品综合利用能力

美国等发达国家的果品采后损失率低于5%，果品加工转化能力达总产量的40%左右，而我国由于技术及设备落后，果品采后损失率高达30%左右，加工转化能力仅为8%左右。另外，我国果品加工业每年要产生大量的下脚料，皮渣等下脚料中仍然含有丰富的蛋白质、氨基酸、酚类物质、果胶、膳食纤维等有效成分。从全价值应用角度出发，应研究特殊成分提取与利用技术，发展循环利用。

12.3 块茎类农产品产地商品化处理机械

块茎是植物学名词，它是植物茎的一种变态，地下茎末端形成膨大而不规则的块状，是适于储存养料和越冬的变态茎。块茎顶部肥大，有发达的薄壁组织，储藏丰富的营养物质。块茎的表面有许多芽眼，一般以螺旋状排列，芽眼内有2~3个腋芽，仅其中一个腋芽容易萌发，能长出新枝，故块茎可供繁殖之用。块茎的顶端具有一个顶芽，马铃薯的块茎较为典型，常见的还有甘薯、木薯、山药、芋头、菊芋、半夏、甘露子（草石蚕）、萝卜等。块茎类农作物既可供人类食用，又可喂养动物，某些加工产品还是食品工业、化工工业、医药工业等的重要原料，其开发前景十分广阔。

包含马铃薯、甘薯、木薯的薯类，为块茎类农作物的主要成员，年产量达7亿多t。特别是近十年来，薯类产业在全球经济一体化的态势下，由于其具有食物安全补充、生物能源利用、耐贫瘠干旱以及世界范围内消除贫困的重要作用，越来越受到广泛关注。据不完全统计，世界薯类总产量达到7.1亿t，其中马铃薯总产量达到3.3亿t，约占薯类总产量的47%；甘薯总产量达到1.3亿t，约占薯类总产量的18%；木薯总产量达到2.5亿t，约占薯类总产量的35%。从薯类产能的布局上看，发达国家马铃薯产能较大，发展中国家木薯产能较大。我国是世界马铃薯的种植和产量大国，居首位，主要领导人曾多次到干旱区域的甘肃、宁夏、青海、山西等马铃薯产区视察指导，鼓励发展马铃薯产业。我国马铃薯（俗名土豆）种植面积占世界的五分之一，产量占世界的四分之一，我们完全应该而且能够把马铃薯办成大产业，这就需要加快引进和培育优良品种，努力提高马铃薯的加工转化程度，不断开拓马铃薯消费市场，小马铃薯，大产业，靠科技，管大用。

薯类产后处理、产品的性能及用途等在块茎类农作物中具有一定的代表性，尤其是广泛种植的马铃薯，其产后储藏、加工处理等在世界范围内被高度关注。

本节将以马铃薯为代表介绍块茎类农产品产地商品化加工处理技术及机械设备的智能制造技术。

粮食危机的根本原因是种植粮食的比较效益低，对地方经济的带动作用小，农民和地方政府缺乏积极性、主动性，但与种植水稻、小麦等禾谷类作物相比，种植马铃薯的经济效益要高得多，农民和地方政府的积极性高，不需要政府过多补贴和动员，只需要稍加引导就可大规模种植，能有效解决供应食用和种植效益之间的矛盾。对于城镇居民和非主产区农民来讲，马铃薯是蔬菜；对于主产区农民来讲，马铃薯是赖以生存的口粮，还是饲料作物；对于工业来说，马铃薯加工制品是重要的化工、医药、食品、能源的优质原料。总的来讲，马铃薯不是人们心目中传统意义上的单纯粮食作物，而是粮、蔬、饲、能兼用，将这类作物的物理、生物加工处理技术纳入先进制造发展行列，具有重要的现实意义。

从营养角度考虑，与一般禾谷类作物相比，马铃薯更适合作人类的主食。按照国家规定，5kg 马铃薯折合 1kg 主粮计算，马铃薯的淀粉、脂肪、热量、粗纤维、钾、钙、核黄素含量均高于标准米和标准面粉，马铃薯的蛋白质、磷、镁、硫胺素含量介于标准米和标准面粉之间，马铃薯还含有禾谷类作物所没有的维生素 C 和胡萝卜素（表 12-2），可以说，马铃薯拥有粮食和蔬菜共有的营养成分，是人类所需的营养成分最全的作物之一。

表 12-2　马铃薯和其他粮食营养成分含量比较（500g 的含量）

品名	蛋白质含量/g	脂肪含量/g	糖类含量/g	热量/cal	粗纤维含量/g	矿物质含量/mg			
						锌	钙	磷	铁
鲜马铃薯	10	1	123	554	6.2	5.3	48	260	4.1
标准米	40	7	380	1 745	2	5	70	1 275	15
标准面粉	49.5	9	375	1 780	3	5.5	190	1 340	21
玉米面	45	1.5	360	1 815	7.5	6.5	110	1 550	17
黄豆	181	92	125	2 055	24	25	1 835	2 855	55
马铃薯	50	5	615	2 770	31	26.5	240	1 300	20

品名	维生素含量/mg				
	胡萝卜素	硫胺素	核黄素	尼克酸	抗坏血酸
鲜马铃薯	0.04	0.44	0.13	1.8	79
标准米	0	1.9	0.25	17.5	0
标准面粉	0	23	0.3	12.5	0
玉米面	0.65	2～25	0.5	8.5	0
黄豆	2	3.95	1.25	10.5	0
马铃薯	0.2	2.2	0.65	9	395

在当前情况下，将马铃薯作为保障我国粮食安全的主要作物还有以下原因：一是马铃薯的发展潜力大，对解决粮食安全的作用明显。长期投入不足使我国的马铃薯研究远远落后于发达国家，亩产量水平具备大幅度提升潜力，在扩大种植面积方面也有潜力可挖，如利用南方冬闲田、采用间套作方式等扩大马铃薯面积；二是我国马铃薯加工业正在快速发展，加工的比例正在增加，马铃薯加工制品的储藏期大大延长，可与一般粮食作物媲美，克服了马铃薯鲜薯储藏期短的弊端，使之可以进行战略储备，发挥弥补国家粮食安全的作用。

我国薯类加工业是随着食品工业的发展而兴起的新兴行业，产值、产量逐年递增。特别是“十一五”期间，得到迅猛发展，已开始由粗放加工、数量扩张阶段转向精深加工、质量提升的发展阶段。在未来农业发展的大环境中，从市场需求、加工技术及成套机械等方面，将对产地处理加工有更高的技术需求，这将对提高城乡居民生活水平、推动相关产业发展、扩大就业、带动农民增收等作出重要贡献。

12.3.1 生产发展概况

1. 国内情况

（1）产品生产情况及主要特点　块茎类农产品中，马铃薯是世界上仅次于小麦、水稻、玉米之后的第四大粮食作物，粮、蔬、饲兼用，加工制品也是能源和工业原料。我国马铃薯种植面积和产量均居世界首位，但用于加工的不足总产量的10%，而欧美发达国家马铃薯制品加工比例达40%以上，且“餐餐必有马铃薯”。

1）马铃薯的生产情况。我国马铃薯种植面积达500万hm^2以上，年产量7 500万t左右，占世界的1/4，在全球150多个生产国中是名副其实的生产大国、消费大国。主要种植区域分为：东北产区，包括黑龙江、吉林、辽宁，既是马铃薯商品薯的重要产地，又是种薯、工业加工原料产地；华北产区，包括内蒙古、河北、山西，已成为重要的菜用薯和现代快餐食品加工用薯的原料基地；西北产区，包括甘肃、宁夏、陕西、青海，在此地区马铃薯是重要的脱贫致富作物，是商品薯的重要产地，又是种薯和工业原料基地；西南产区，包括云南、贵州、四川、重庆、湖北、湖南，由于具有立体气候，因此是重要的常年供应鲜薯及加工原料的基地，在此地区马铃薯也是脱贫致富的主要产业；南方冬作区，包括广东、广西、福建、江西等，冬作马铃薯既充分利用了冬闲的光热土资源，又

增加了稻区农民的收入。马铃薯生产既保障了国家的食物安全（数量、质量和结构），又改善了水稻的生产条件从而增加稻谷产量，同时为东北、华北北部和甘陕宁地区的种薯提供了广阔的市场。

东北、华北、西北马铃薯产区的田间生产主要以机械化的耕、耙、播、收、植保及喷灌、滴灌等大型机械设施为主，田间管理及操作较为规范；西南马铃薯产区因其地理区域特点，多使用小型作业机械或人工进行田间作业；南方冬作区是为了充分利用冬闲田，其鲜薯的品相较好，收获上市时间早，基本以人工为主进行种植、收获、分级和包装等。

2）马铃薯的主要特点

① 适应性极强。马铃薯的适应范围极广，并已远远超出水稻、小麦、玉米等主要栽培农作物，在不同纬度（南纬 40° ~ 北纬 71°）、不同海拔（0 ~ 4 200m）、不同季节和气候的不同土壤类型地区均可种植，甚至在我国海拔 4 600m 的西藏高原地区仍能广泛种植，获得较高产量。同时，马铃薯不仅适于与多种粮棉作物等间套作，还适于高度机械化作业与栽培等，极有利于提高复种指数、单位面积产出率和劳动生产率。

② 高产稳产。马铃薯的理论产量极高，可超过 150t/hm^2，是全球主要栽培作物中光能、水、土地和劳动转化效率最高、实际产量和潜在产量最高的农作物。目前，世界马铃薯的平均单产水平（折粮）高于水稻和小麦，略低于玉米，总产水平仅次于小麦、玉米和水稻三大粮食作物，列第 4 位。

③ 营养均衡。马铃薯块茎不但营养丰富，且营养成分全面而平衡，见表 12-2，是理想的营养价值最高的农作物。为此，联合国推出“2008 国际马铃薯年”活动，旨在大力倡导、鼓励和支持马铃薯的种植与消费。

④ 用途广泛。马铃薯块茎营养成分全面、平衡，既可作粮食和菜用，鲜美可口、味道独特，也可兼作饲料，是优质的饲料资源；同时，也是重要的工业原料，广泛应用于淀粉、糊精、葡萄糖、酿酒和药品、食品加工及制造业等。

⑤ 短生育期特性。马铃薯生长期短，一般种植后 60d 左右便可形成相当量的块茎；极早熟品种出苗后 45 ~ 50d 即可收获，中晚熟品种出苗后 100 ~ 110d 也可成熟，经济效益十分显著；同时，这一特性对维护和保障世界食物安全具有十分重要的战略意义。

⑥ 栽培及加工的简易性。马铃薯适应性广，性喜冷凉、阳光和水分，对土壤条件的要求也较宽泛，且具有易繁殖等特点，使其种植和栽培变得简单易行；

同时，块茎的特点决定了其食用加工和烹调极为便捷，备受人们青睐。

（2）产业结构情况　我国马铃薯作为一个产业是在改革开放后才逐步建立并发展起来的。马铃薯产业的形成得益于改革开放，种质繁育、种植生产、产品加工与消费市场需求，得益于引进和消化吸收先进国家的优良品种、工艺装备和技术进步，得益于规模化生产的加工成本下降及综合利用价值的提高。

近 20 年来，随着马铃薯种质繁育技术的发展，脱毒种薯逐渐普及，专用型优良品种越来越多，商品薯的用途日益明确，消费市场的需求越来越具有针对性，使得马铃薯产地商品化加工处理逐渐成为可能，参与的企业越来越多。目前马铃薯产地商品化加工处理的产品主要有两大类。

1）产地商品化预处理。包括产地商品化鲜薯分级包装及鲜薯的半成品加工包装上市。根据人们消费习惯的地域性和产区的品种特点，产地商品化预处理刚刚兴起，市场主要集中在省会级的大城市及南方人口密集的中等城市，目前经营企业很少，尚缺乏成熟的机械加工设备，产地商品化鲜薯分级包装以人工为主，效率低，产品标准难以统一和保证。鲜薯半成品加工包装的生产工艺、保质货架期仍有待于深入研究完善。但产品市场前景广阔，有发展潜力。

从 20 世纪 70 年代末我国政府提出净鲜半成品上市到现在，净鲜半成品的发展可以分为两个阶段。初级阶段的净鲜半成品是指没有经过保鲜处理，只是进行初步的去根、去泥、去黄叶等加工整理后，进行分级、定量包装、整理上柜后销售；高级阶段的净鲜半成品就是目前发达国家所推行的最少加工，即新鲜原料经过清洗、去皮、修整、包装而成的即食或者即用的制品。研究其加工技术，符合我国人民群众鲜食习惯的需求，能够更好地利用鲜食马铃薯这一庞大市场，加快马铃薯产业发展。

2）产地商品化精深加工。“十一五”期间，在政策导向和市场需求的驱动下，马铃薯产地加工业发展迅速。据有关统计，2010 年全国马铃薯加工产品产量迅速增长，达 140 万 t，比“十五”末期增长近 50%，年均增长 8.3%，主要产品有：淀粉 50 万 t、全粉 5 万 t、冷冻薯条 10 万 t、薯片 30 万 t、粉丝粉条 30 万 t 等。规模以上马铃薯加工企业 150 余家，淀粉前 5 强生产企业的产能约占总产能的 42%，产量约占规模化企业总产量的 41%，市场占有率为 84%；冷冻马铃薯条则基本集中在 4 家大、中型企业，体现出较高的产业集中度。马铃薯加工业的高速发展还带动了相关的装备制造业，每年有十多亿元的产值。淀粉、变性淀粉等马铃薯加工产品作为重要的工业原辅料，对食品、造纸、纺织、医药、化

工等产业的发展也有着极为重要的推动作用。

（3）市场发展情况与需求、趋势预测

1）产地商品化预处理市场发展。马铃薯的营养价值和保障粮食安全价值逐渐被人们所重视，尤其是加工后的制品更是应用到了国民经济的各个方面。马铃薯产地商品化处理主要包含两个方面，即产地分级处理和净鲜半成品处理。近几年来，马铃薯的加工品种、加工数量和加工企业规模都有迅速的发展。加工产品有淀粉、全粉、薯条、薯片等，各加工产品对原料要求不尽相同。对于淀粉生产，要求块茎淀粉含量要高，块茎大小适中；而对于薯条加工，则要求还原糖含量较低，采用薯形规整、长条形、芽眼少而浅的大长径块茎，加工薯片的原料除了还原糖含量较低外，还要求采用大小一致的圆形块茎。因此在加工之前进行分级处理，使不同成分含量、级别的块茎用于不同产品的加工，既有利于保证产品质量的统一和成品率，又可提高企业生产效率，避免因使用不适合原料而造成低产出、高能耗，直接影响企业的经济效益。块茎类物料分级技术和装备的使用将是规模型、高要求加工企业生产前处理不可或缺的工艺过程。

随着人们生活水平的日益提高及人们对马铃薯营养价值认识的加深和超市净菜消费的普及，越来越多的消费者喜欢购买外观整齐干净的马铃薯。目前在市场上销售的鲜马铃薯大多以人工挑选为主，标准难以控制统一，而应用分级和包装技术设备替代手工劳动，可做到分级精确、提高分级效率。我国目前作为鲜食的马铃薯产品占总产量的 63%，数量可观，前景看好。

我国马铃薯的出口量仅 2 万 t 左右，主要原因之一就是马铃薯的分级及包装意识淡薄，产品标准不符合国际要求，因此要增加出口，必须严格分级、包装，使产品外形整齐、个体均匀。分级技术能为马铃薯出口创汇企业提供技术装备手段，提高高等级产品销售量。

从发展的角度看，净鲜马铃薯半成品的消费符合现代市场的发展趋势。现代人生活水平不断提高，生活节奏也不断加快，对马铃薯食用的方便性提出了越来越高的要求。全国各地蔬菜配送中心的建立，为净鲜马铃薯半成品的发展提供了有利条件。

2）产地商品化精深加工市场发展。薯类产地商品化精深加工的主要制品有淀粉、全粉、薯条、薯片及“三粉”（粉条、粉丝、粉片）等。国内市场对薯类淀粉的需求量在 100 万 t 以上，对全粉的需求量在 5 万 ~6 万 t，对薯条的需求量在 20 万 t 以上，对薯片的需求量在 40 万 ~50 万 t，对“三粉”的需求量在 40 万 t

以上。而国内薯类加工制品的实际产量却因生产季节短、市场商品薯价格波动等问题而远远满足不了市场需求，薯类淀粉的实际产量约 50 万 t，全粉的实际产量 5 万 t 左右，薯条的实际产量不足 10 万 t，薯片的实际产量约 30 万 t，“三粉”的实际产量为 30 万 t 左右。近年来，国家支持三农发展、产业扶贫、西部大开发、振兴老东北等产业政策实施后，各有资源的省份又纷纷掀起了建厂热潮，形成了较大生产规模的生产能力，对加工技术及设备的需求更加迫切，市场前景看好。

2. 国外情况

（1）产品生产情况及主要特点　薯类农产品中，马铃薯在世界上是一种极为重要的食品已成为共识，巨大的市场空间和丰厚的投资回报让许多外国企业产生了浓厚兴趣。世界上有 150 多个国家种植马铃薯，除我国外，主要的种植国家有俄罗斯、印度、美国、荷兰、法国、德国、英国等，种植及加工已有上百年的历史，产业体系完善。它们的生产种植集中，以农场为主，便于管理，田间机械化程度远高于我国，尤其是植保机械、灌溉设备、收获机械等智能自动化程度很高，只需要几个机械操作人员即可完成成千上万公顷的生产作业；收获后的鲜薯即刻进行产地的分级等处理，根据市场需要可以按重量、尺寸、质量等进行机械或光电分选，然后由专业运输设备送至储藏库进行存放。鲜薯储藏库设计科学合理，设备设施先进，通风换气、温度、湿度、光照等控制均自动实现，保证了原料长期安全储藏。

欧美发达国家的马铃薯品种繁多，针对不同的使用目的种植不同的品种，如用于加工薯条的夏波蒂专用品种，马铃薯呈长椭圆形、芽眼少而浅、薯肉白色、还原糖含量低、干物质含量高而淀粉含量适中；用于加工薯片的大西洋专用品种，马铃薯呈圆形、个体形状差异小、还原糖含量低、干物质含量高而淀粉含量适中；用于加工淀粉的高淀粉含量品种等。

在欧美发达国家，马铃薯有“地下苹果”和“第二面包”的美称，每餐只要吃全脂牛奶和马铃薯，便可得到人体需要的全部营养素。因此，其人均消费马铃薯及其制品的水平远远高于我国，每年每人达 50kg 以上，而我国仅为 28kg。

（2）产业结构情况　欧洲马铃薯产业已有上百年的历史，产业体系完善，产地商品化处理技术及机械装备先进，自动化、智能化程度高，具有一整套的鲜薯产地分级包装、鲜薯半成品加工及精深加工技术装备。欧美国家较有影响的加

工机械研制公司有荷兰的科瑞欧、豪威、高达、尼沃巴，瑞典的拉尔森，德国的BMA，美国的热控公司以及爱维贝等。

（3）市场发展情况与需求、趋势预测　在国外薯类制品生产及机械加工中，以马铃薯产业最具有代表性。欧美先进国家的马铃薯加工制品是每餐必备的食品，需求已经相对稳定，它们将产品主要用于出口到亚洲、非洲等地区的国家，如我国每年马铃薯淀粉及速冻制品（薯块、薯条等）从欧洲的进口额就达几十亿美元。同时，欧美国家将其先进的加工技术及设备出口，如我国速冻薯条生产线几乎全部进口，马铃薯全粉生产线一半以上进口，马铃薯淀粉生产线大部分进口。目前国外薯类制品已经向更深层次的食品开发，如变性淀粉、复合薯片、非油炸薯类食品等。

12.3.2　技术发展现状与趋势

1. 国内发展现状与趋势

（1）原料输送技术及设备　常用的有带式输送机、刮板输送机、斗式提升机、螺旋输送机及块茎物料输送泵。根据不同的物料状态及工作条件选择不同的原料输送设备，各种机械的输送能力在一定范围内可以调节。块茎物料输送泵（图12-21）为一种新型输送设备，用于高度差较大的输送，流量大、无损伤，且物料在水中输送，隔绝了空气，防止褐变，利于保证产品质量。

（2）清洗技术及设备　常用的清洗机有鼠笼式清洗机及毛刷式清洗机。

鼠笼式清洗机（图12-22）由鼠笼式滚筒、传动部件和机壳三大部分组成。工作时，鼠笼直径的1/3左右浸在水中，在机器转动时，浸泡在水中的薯块沿轴向运动，同时作圆周运动，薯块间相互碰撞、摩擦，从而洗去泥沙和部分去皮。通过调整滚筒转速控制清洗时间。鼠笼式清洗机可以同时完成清洗和输送物料功能。

毛刷式清洗机（图12-23）由一带漏斗排污口的U形水槽和旋转的若干个毛刷辊组成。水槽中薯块相互碰撞与摩擦，同时与毛刷摩擦，薯块表面的泥沙被喷淋水冲洗而从另一端排出。

洗涤质量取决于原料的污染程度、清洗机的结构、薯块在清洗机中停留的时间、供水量等因素。一般洗涤时间是8～15min（可以调整），洗后薯块的损伤率不大于5%。

（3）去皮技术及设备　去皮技术有机械式摩擦去皮和蒸汽去皮。

图 12-21　块茎物料输送泵

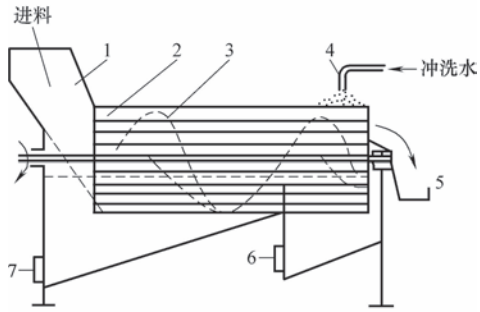


图 12-22　鼠笼式清洗机结构

1—加料口　2—滚筒　3—螺旋导板
4—喷头　5—出料口　6、7—排污口

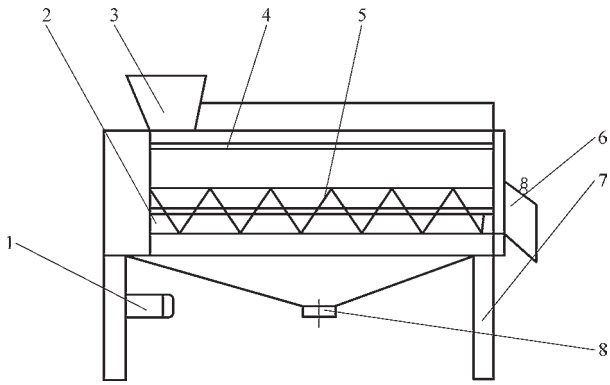


图 12-23　毛刷式清洗机结构

1—减速机　2—毛刷棍　3—入料口　4—喷水管　5—输送螺旋
6—出料口　7—机架　8—排污口

机械式摩擦去皮的原理是利用涂有金刚砂、表面粗糙的转筒式滚轴，通过摩擦的作用擦去块茎表皮，要求薯块呈圆形或椭圆形、芽眼少而浅、大小均匀。机械摩擦去皮后的物料表面光滑度差，去皮损失大，在 15% 以上。

旋转式蒸汽去皮（图 12-24）是将薯块用蒸汽进行短时间处理，然后突然放气泄压，使薯块的外皮与薯肉分离，再用毛刷使表皮剥离。蒸汽去皮能均匀地作用于整个薯块表面，去皮干净、效率高，损失在 8% 以下。

（4）切制成型技术及设备　切制成型技术主要有机械式和水力式两种。机械式设备主要有机械切片机、切丁机、切条机等。水力式切制机主要是通过水力

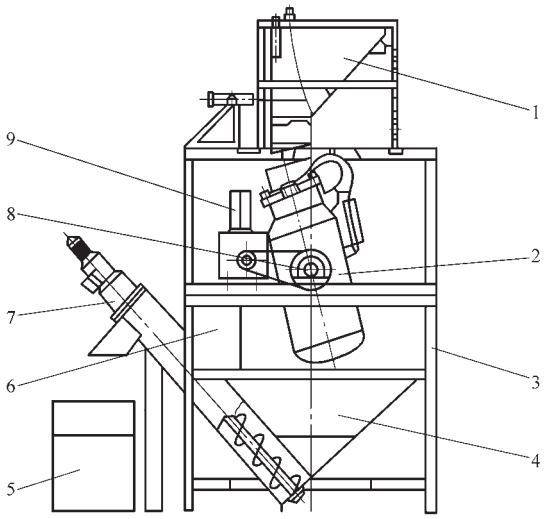


图 12-24　旋转式蒸汽去皮机

1—计量进料斗　2、8—压力罐部件　3—机架　4—出料斗　5—电控柜　6—气控柜
7—螺旋提升机　9—蒸汽进出控制阀及管路

输送马铃薯进入切制刀具，能够切成片状和条状。两者应用的主要区别在于切制的表面质量、切制的成品率不同。

离心力式切制片机（图 12-25）依靠物料的旋转离心力使其压在刀刃上，切刀在与物料圆周运动的切线平行处，沿圆周方向均匀分布安装。工作时，物料由进料斗进入到推料转盘上，并在转盘的带动下沿刀架内侧转动，在离心力的作用下压向切刀，切刀在物料圆周运动的切点的垂直面切削物料。更换刀片，通过切刀组合，能够切片、切丝、切条和切丁。这种切制机刀片多、效率高，片的光滑度和厚度精确度也较好。

水力切条机是一种先进的切条设备，能够按照马铃薯薯茎长度方向切出更长的直条，截面尺寸更为准确，而且碎条率较低。水力切条机（图 12-26）主要由块茎类物料循环输送泵、导向锥管、切刀室、塔形组合刀具、重力曲筛和循环水收集系统组成。工作时物料循环输送泵将按尺寸大小分级的原料用水流传送到切刀室中，输送过程中有一个圆锥形的管将物料定位，按照最小阻力原理在水流压力的作用下物料沿长度方向通过塔形组合刀具，完成切制，通过减速器进行减速后，再由重力曲筛完成条和水的分离。用水力切条机可以将马铃薯及其他块茎类的蔬菜切成条形、薄片或扇形等。

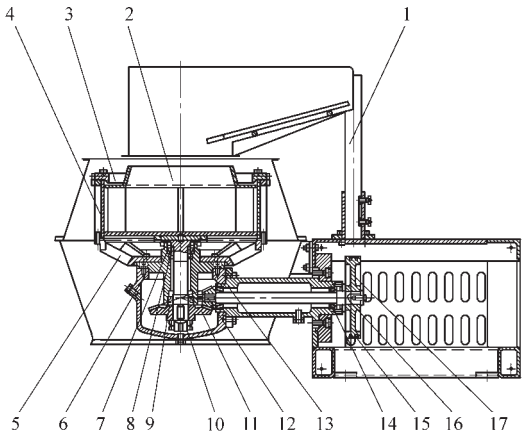


图 12-25　离心力式切制片机

1—进料斗　2—推料转盘　3—刀体上支座　4—刀体　5—刀体下支座
6、7、8、13、16—密封圈　9、14—轴承　10—齿轮箱
11—大锥齿轮　12—小锥齿轮　15—V 带　17—带轮

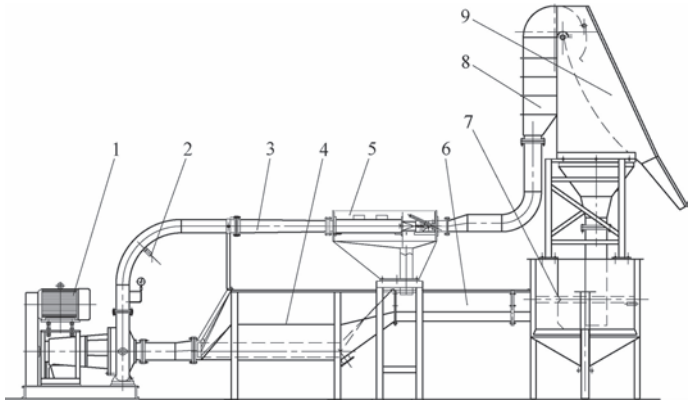


图 12-26　水力切条机

1—马铃薯块茎无损伤输送泵系统　2—导向锥管　3—塔形组合刀具　4—减速器
5—分离曲筛　6、7—循环水收集系统　8—马铃薯料斗　9—流量传感器

（5）漂洗漂烫技术及设备　漂洗漂烫类设备有网带式漂洗机、滚筒式漂洗机、滚筒式漂烫机、螺旋式漂烫机等。

1）滚筒式漂洗机。滚筒式漂洗机（图 12-27）由输料网带、水槽、滚筒和进料槽等组成。滚筒上分布有孔洞，内壁装有推进螺旋，滚筒出口装有导料板与网带输送机衔接。当滚筒以均匀的速度转动时，与水流一起对物料进行翻动和输

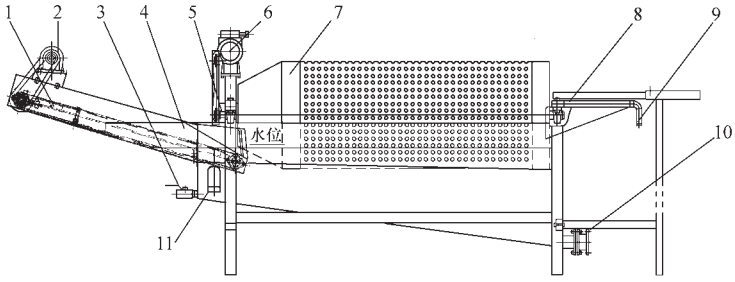


图 12-27　滚筒式漂洗机

1—输料网带　2—输料减速机　3—进水口　4—水槽　5—传动链　6—滚筒减速机
7—滚筒　8—进料槽　9—冲料水管　10—排水口　11—溢流口

送，达到漂洗的目的。滚筒式漂洗机是一种供块茎作物及其切片、切条漂洗的设备，可连续作业。根据物料对漂洗程度的不同要求，可以相应调节转筒的转速，满足物料的漂洗时间和漂洗效果要求。

2）滚筒式漂烫机。滚筒式漂烫机（图 12-28）的工作原理及结构与滚筒式漂洗机大致相同，主要由输料网带、水槽、滚筒和进料槽等组成，但增加了进汽管和保温罩。

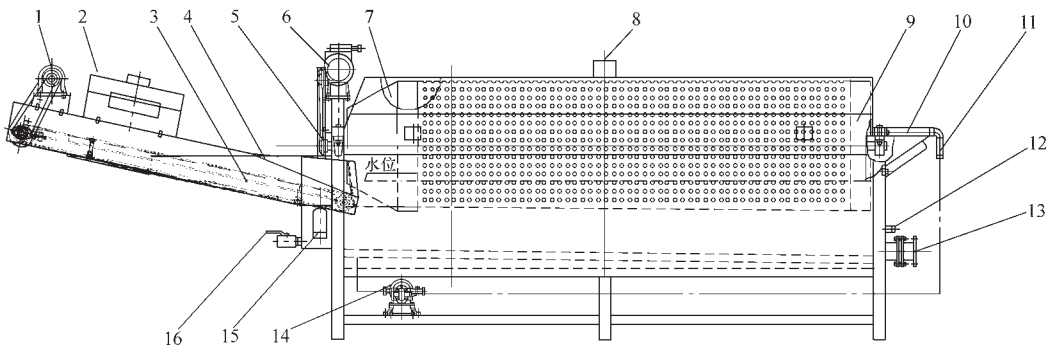


图 12-28　滚筒式漂烫机

1—输料减速机　2—脱水系统　3—输料网带进水口　4—水槽　5—传动链　6—滚筒减速机
7—滚筒　8—排汽筒　9—保温罩　10—进料槽　11—冲料水管　12—进汽管
13—排水口　14—循环水泵　15—溢流口　16—进水口

漂烫设备主要用来对马铃薯进行漂烫杀青灭酶，防止马铃薯在加工过程中产生褐变，起到软化组织、护色的作用。

3）螺旋式漂烫机。螺旋式漂烫机（图 12-29）主要由机体与机架、螺旋叶

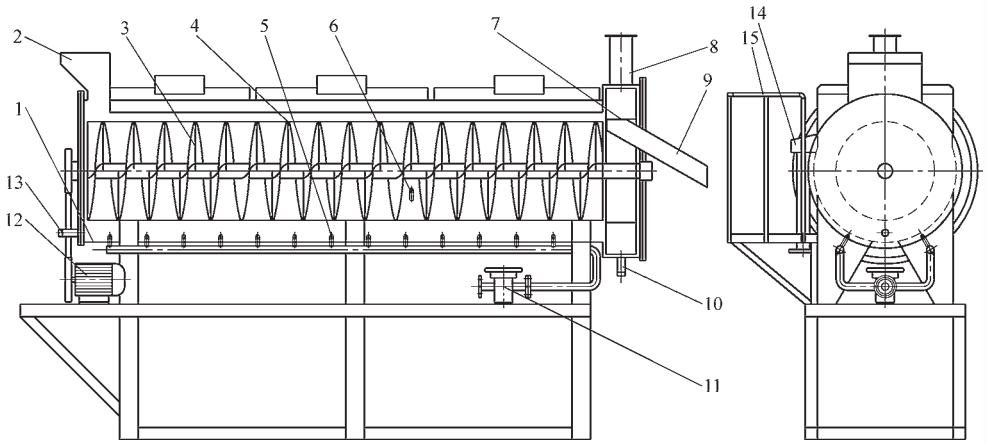


图 12-29　螺旋式漂烫机

1—机体与机架　2—进料斗　3—螺旋叶片　4—圆弧网板　5—蒸汽分配管口　6—温度传感器
7—出料翻斗　8—排汽管　9—出料斗　10—排污管口　11—线性薄膜蒸汽阀
12—减速电动机　13—进水管口　14—溢流管口　15—操作台架

片、圆弧网板、出料翻斗、减速电动机、线性薄膜蒸汽阀、蒸汽分配管系统、温度传感器与电气控制部件等组成。以蒸汽（0.5～0.7MPa）为热源，将腔体内的漂烫液加热至适宜的温度；经切片（切条、切段）的马铃薯原料进入漂烫机内的螺旋推进器中，由于螺旋作用物料在一定温度的漂烫液中产生旋进式的向前移动，根据不同物料的特点和加工工艺，调整螺旋速度，以满足不同物料在不同漂烫温度下对漂烫时间的要求。

也可以采用外循环方式进行加热，加热时腔体内的漂烫液由水泵抽到管道中，经汽水混合器或换热器加热后从分配管口处进入腔体，完成对物料的加热过程。漂烫液的温度由温度传感器测定后反馈到控制器，根据温差的大小按比例确定蒸汽阀的开启程度，达到稳定、平衡的要求。

（6）干燥技术及设备　干燥技术及设备种类较多，马铃薯加工处理中常用的有带式干燥机、气流干燥机、滚筒干燥机。

气流干燥机是一种比较新型的干燥设备，由进料口、螺旋输送器、干燥管、旋风分离器、鼓风机、空气加热器和空气过滤器等部件组成，主要用于马铃薯淀粉的干燥。湿淀粉先用二次干燥的尾气干燥，淀粉含水量大大降低，再用较高温度的新热空气进行二次干燥，使淀粉达到水分含量要求。湿淀粉虽然采用高温干燥，但由于干燥处理是在几秒钟内完成的，因此淀粉不易焦化，质量较好。采用

尾气加热、二次干燥，有效地利用了热能，干燥效率高，同时干燥与粉碎合并操作，简化了设备装置，节省了费用和占地面积。

滚筒干燥机（图 12-30）的主要工作部件为主滚筒，周向分布 4 ~ 5 个布料辊，将液料分布在转动的、蒸汽加热的滚筒上，与热滚筒表面接触，液料的水分被蒸发，干燥后由刮刀将薄膜片刮下，经粉碎后成为产品。滚筒干燥机的特点是热效率高，可达 70% ~80%，干燥速度快，产品干燥质量稳定。

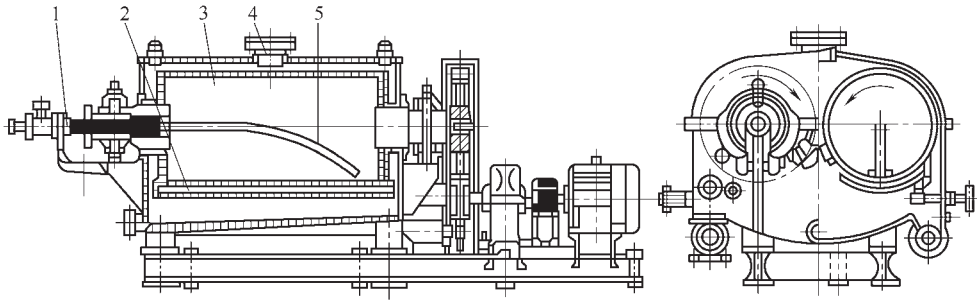


图 12-30　滚筒干燥机结构

1—蒸汽进口　2—液料槽　3—主动滚轮　4—排气口　5—冷凝水吸管

滚筒干燥机对物料的干燥是物料以膜状形式附于滚筒上为前提的，因而物料在滚筒上的成膜厚度对干燥产品的质量有直接影响。膜形成的厚度与物料的性质（形态、表面张力、黏附力、黏度等）、滚筒的线速度、筒壁温度、筒壁材料以及布膜的方式等因素有关。滚筒干燥机主要用于马铃薯全粉、变性淀粉等的加工。

（7）破碎技术及设备　破碎的目的是将薯类块茎粉碎到要求的程度。如淀粉加工时要求粉碎到使细胞壁包裹着的淀粉颗粒游离出来，与纤维素和蛋白质等其他成分能很好地分开，为提取淀粉创造有利的条件。全粉加工时则要求细胞的完整性，在不影响其他工艺程序的前提下要尽可能控制破碎程度。

锤片式粉碎机是一种利用高速旋转的锤片来击碎物料的机器，通用性强、调节粉碎程度方便、使用维修方便。主要部件是锤片、齿板、筛片。工作时，物料从喂料斗进入粉碎室，首先受到高速旋转的锤片打击而飞向齿板，然后与齿板撞击而被弹回，再次受到锤片打击并与齿板相撞。物料颗粒经过反复打击和撞击后，逐渐成为较小的碎粒，从筛孔排出。留存在筛面上的较大颗粒，再次受到锤片的打击，在锤片与筛片之间受到摩擦，再次粉碎直到物料从筛孔中排出为止。

锉磨机（图 12-31）是破碎鲜薯的高效设备，生产效率高。被粉碎的物料在

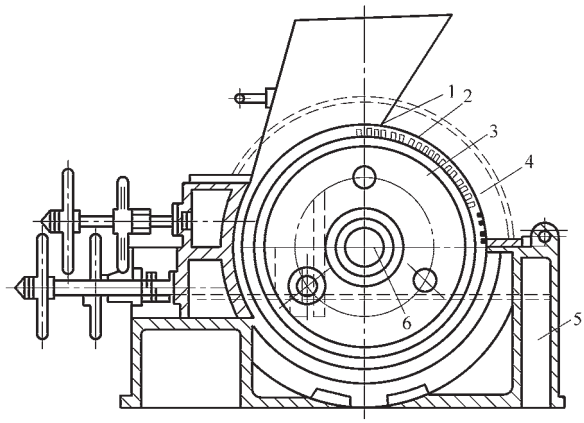


图 12-31　锉磨机结构

1—外壳　2—锯条　3—转鼓　4—筛板　5—机座　6—轴

显微镜下呈丝状，有利于淀粉分离，从而提高淀粉得率。锉磨机主要由外壳、转鼓、筛板和机座等部件组成。在转鼓周围安装了许多锯条，外壳侧面装有压紧齿刀，可用螺栓调节压紧齿刀与转鼓之间的距离来调整破碎程度。在外壳下部设有钢制筛板，筛孔为 2mm × 15mm 的长方形。

鲜薯由进料斗送入转鼓与压紧齿刀间的工作区被破碎，破碎的糊状物穿过筛孔送入下道工序处理，而留存在筛板上的较大碎块则继续被破碎，直至通过筛孔。锉磨机主要用于薯类淀粉生产时的破碎。

（8）分离技术及设备

1）纤维分离。马铃薯经过破碎后得到的是混合物，含有纤维素和蛋白质等成分，因此在淀粉作为最终产品之前必须将其他杂质除去。分离纤维的设备有离心筛、曲筛。

离心筛是借助离心力分离纤维的设备，其结构与离心泵相似。转子的旋转叶由多孔筛板制成，筛板呈弯曲状，凸面朝着转子旋转的方向，物料从轴向进料管引入，受到离心力的作用，向筛板移动，淀粉乳通过筛孔，沿离心筛的边缘流出。薯渣停留在筛板上，当旋转到下方开口处时，在离心力的作用下，被甩出机外。实际生产中使用的离心筛多是四级连续操作，即由锉磨机破碎的薯糊，经第一、二级离心、清洗后，再经第三、四级离心、清洗，使最后薯渣中含有的游离淀粉达到最少。

2）细胞液分离。除去纤维素后的淀粉乳，仍是淀粉和蛋白质的混合物。它们的粒度接近，但是相对密度不同，在悬浮液中沉降度也不同，所以可利用相对

密度差异将它们分离。

常用的分离细胞液的设备有卧式螺旋沉降离心机、碟片式离心机、旋液分离器。

旋液分离器结构简单、使用方便、分离效率高。由于薯类蛋白质含量较低，而且薯类淀粉颗粒也比玉米、小麦淀粉粒要大一些，因此利于旋液分离器更好地分离淀粉乳中的蛋白质和其他杂质。旋液分离器由旋液分离管组成（图 12-32），淀粉乳在一定压力下（0.45～0.60MPa）沿切线方向进入分离室，形成旋转运动，相对密度大的淀粉由于离心力的作用，被甩向分离室内壁，沿着内壁下移从底流口排出。相对密度较小的蛋白质，被集中于中心，以涡流状态上移从溢流口排出，从而实现两者的分离。多个旋液分离器组成分离单元，不同组合的单元形成旋流分离站。

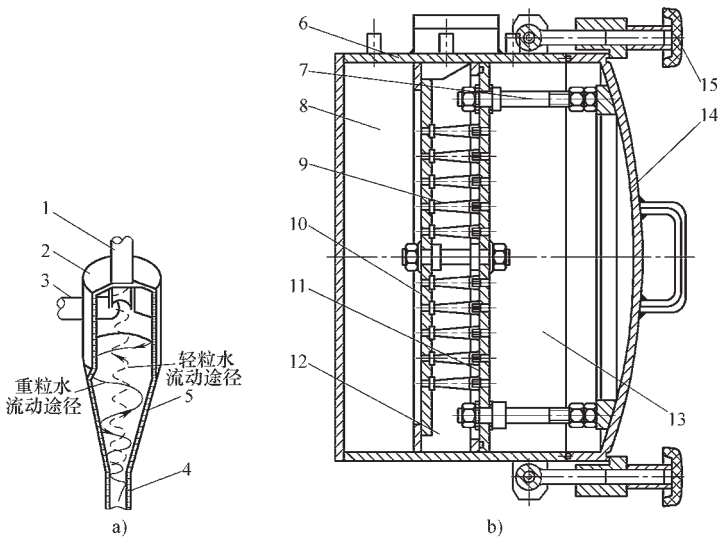


图 12-32　旋液分离器工作原理

a）旋液分离管　b）旋液分离器

1—溢流（轻质物料）口　2—圆柱室　3—进料管　4—底流（重质物料）口　5—锥体　6—旋液分离器箱体　7—丝杠　8—底流腔　9—旋液分离管　10、11—筛板　12—进料腔　13—溢流腔　14—旋液分离器盖　15—把手

（9）分级技术及设备　薯类分级处理是产地商品化最基本的手段之一。针对不同的市场需求目标采用不同的分级方式，使分级处理后的原料转化为满足不同客户需求的商品。目前国内马铃薯刚刚开始采用按块茎个体尺寸大小进行分级

的方法，这种分级方法选出的块茎尺寸和形状基本一致，有利于包装储存及加工处理。按块茎个体尺寸大小分级包括按块茎直径进行分级、按块茎长度进行分级、按块茎直径和长度联合分级。

1）平行旋转辊式分级设备。原料沿着具有不同尺寸缝隙的旋转分级辊移动，最小的物料先从最小缝隙漏出，较大的物料从较大缝隙漏出，按缝隙尺寸的差别，依次选出不同级别的原料。工作时分级辊作匀速转动，物料在分级过程中由匀速转动的分级辊带动旋转，在旋转惯量的作用下自然沿着直径方向旋转并向前移动，当物料直径小于分级辊间的间隙时，则从间隙掉入下层输送带上，最终实现直径分级。平行旋转辊式分级机主要部分如图 12-33 所示。

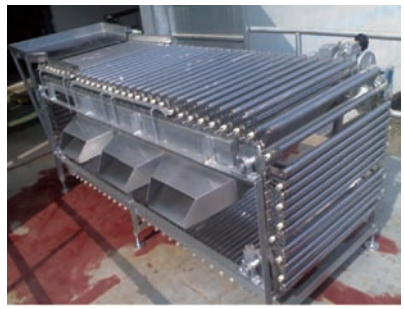


图 12-33　平行旋转辊式分级机主要部分

2）长度分级设备。长度分级机（图 12-34）主要用于薯条等条状物料的长度分级工序。采用振动分级和概率筛原理进行设计，将脱水后的切条按照长度进行分级，将长度小于规格要求的碎条和短条分离出去。分级机的振幅调整很重要，振幅过大时会产生向上的抛掷运动，导致较长的薯条被抛起后直接落入板孔中，随废条一起被收集为下脚料，振幅过小时，分级机的生产率达不到要求，甚至产生堵料现象。

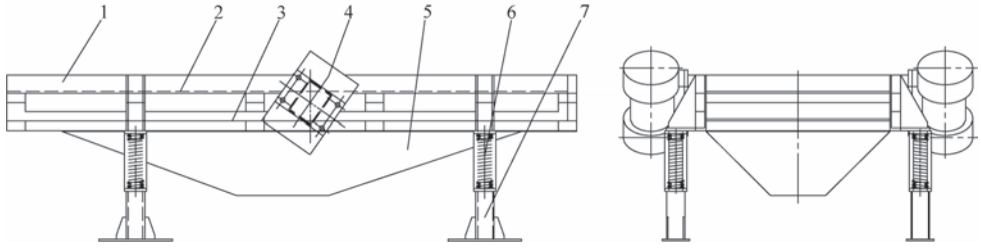


图 12-34　长度分级机结构

1—筛板架　2—上层筛板　3—下层筛板　4—振动电动机
5—废料斗　6—减振弹簧　7—弹簧支架

（10）油炸技术及设备

1）薯条油炸机。速冻薯条油炸工序不仅要求设备能够将煎炸油加热到所需的温度，满足油炸过程中的热量交换，连续、均匀地完成薯条的油炸过程，而且

设备还应具有将油煎炸过程中产生的杂质自动、有效地去除，保证煎炸油的品质，提高煎炸油使用寿命，便于清洗的综合功能。

YZW60 型薯条油炸机系统（图 12-35），主要由油炸主机、自动除渣机、精滤机、螺旋板式换热器、循环油泵、储油罐、输油管路等组成。炸锅上的煎炸油进油管有两个进油口，通过管路上的阀门可以进行流量及其分流调节，调整油槽内的油流和油温分布。油槽中的油面高度应保证薯条被浸没在油中，设置油面高度后，当油量不够时，电磁阀会自动打开放油，放油速度不满足需要时，可开启储油罐出油旁路阀门向循环油路补充煎炸油。

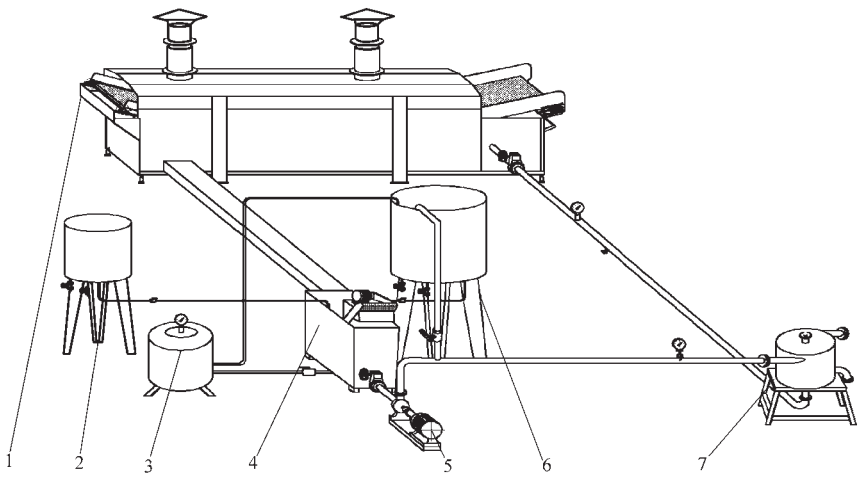


图 12-35　YZW60 型油炸机系统

1—油炸主机　2—小储油罐　3—精滤机　4—自动除渣机　5—循环油泵
6—大储油罐　7—螺旋板式换热器

2）薯片油炸机。连续式薯片油炸机（图 12-36）由拨料机构、传动系统、排烟烟囱、烟罩、压料网带、出料链条以及出料减速器等组成。

将已切好的薯片送入油槽中，马铃薯片进入油炸机后，在油槽的前段处于自由状态。随后进入拨轮搅拌段，薯片中的水分进一步蒸发，拨料机构的作用就是将上浮的薯片压入油内，翻动薯片防止粘连，且使薯片受热均匀。经过拨轮的薯片水分大量蒸发，此时薯片处于上浮状态，在拨轮区后面设置了压料网带，薯片在该区仍在炸油中进行水分蒸发、干燥，压料网带上设置有拨板，防止薯片在该区的滞留，保证其按一定时间出料。出料带的作用主要是将薯片从油槽中带出，满足连续生产的需要。由于薯片到达该段时基本上达到了水分要求，已经不会产

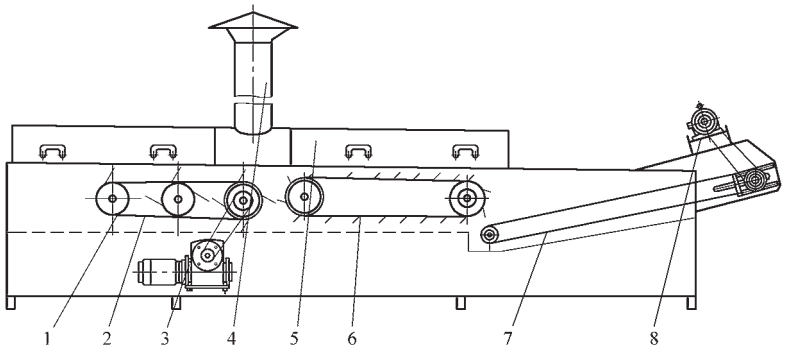


图 12-36　连续式薯片油炸机

1—拨料机构　2—传动链条　3—油炸减速器　4—排烟烟囱　5—烟罩
6—压料网带　7—出料链条　8—出料减速器

生粘连等现象，这样就可以将出料带速度降低，当薯片从高温油中送出后，薯片表面的油分和一些水分还要在此蒸发，经过此段的停留，一方面可以沥去薯片表面的油分，另一方面使薯片脆度增大，产生酥脆感。

2. 国外发展现状与趋势

（1）产品技术　欧美等地区发达国家有上百年的薯类产业发展历史，产品成熟，系统完善，机械先进，控制精细，在产品加工技术方面处于世界领先地位。

鲜薯块茎的分级技术有尺寸分级、重量分级、质量分捡、光电色选技术，并形成了较为完整的分级包装生产线（图 12-37），其由除土、分级、捡选、称重包装主要设备及附属设备组成。

图 12-37　具有光电色选功能的马铃薯分级包装生产线

马铃薯加工技术方面已经具有精淀粉加工，全粉加工，速冻薯条、薯块与薯丁加工等世界领先的加工技术。已经形成了完善的种质繁育、种植栽培、仓储运输、加工控制、市场销售体系模式及产业链，在后续产品的开发、各环节的运作方面均处于世界领先地位。

（2）装备制造技术　欧美发达国家马铃薯加工产品技术先进，其在装备制造方面的发展也相对迅速，既有性能优良的锉磨机、分级机、蒸汽去皮机、水力切条机、切片机、滚筒干燥机、带式干燥机、旋流工作站、精密控制元器件等单机设备，也有成套的全粉加工装备、速冻薯条加工装备、精制淀粉加工装备、大型薯片加工装备。这些装备运行稳定可靠，操作简单方便，更为关键的是欧美国家的基础工业水平高于我国，如其生产的刀具的耐磨性及锋利程度、生产的轴承的稳定性等均为世界领先水平。

12.3.3　存在的问题分析

我国薯类加工业起步较晚，在产地商品化加工处理方面与欧美国家相比还有很大差距，存在如下主要问题：

1. 产业链衔接不紧，影响了企业正常生产

马铃薯加工是一个从品种到栽培、从收获到储运、从加工到物流、最终进入消费的各个环节关联性极强的完全市场过程，规模化加工企业没有建立保障原料标准化生产的栽培基地或是与农户进行订单式交易，难以保障原料的数量和质量，造成生产开工不足，形不成规模效益。

2. 产地分级包装应用不规范，影响商品化价值的提高

随着马铃薯种植、产地分级、包装、储藏技术和装备的逐步成熟，外向型种植企业在率先实现机械化种收与管理的基础上，尚缺乏产地分级、防伤套袋、保鲜包装、低损储藏技术的应用，几乎完全依靠人工，无法保证生产率、商品率及经济效益的最优化。

3. 产业结构不够合理

马铃薯加工业结构不够合理，表现在规模化、工艺装备先进的企业偏少，大多数还是设备简陋、工艺落后、出品率低的落后企业，副产品综合利用的研究开发还刚起步，高附加值产品的生产技术开发和应用有待加强，加工过程和产品标准化体系建设较为落后。这在一定程度上制约了马铃薯加工业的健康发展。

4. 环保技术供给不足

尤其在大型淀粉加工中表现极为突出。马铃薯淀粉加工后的薯渣、废水已经成为制约发展的根本性因素。缺乏减量化处理的有效办法，缺乏系统综合应用的有效技术，缺乏低成本的环保处理设备，难以达到量大、COD 高的废水处理要求，造成极大的资源浪费和周边环境的极大污染。

5. 缺少新型制品开发及资源全程化利用技术

在马铃薯主食化方面，干制品、休闲制品等传统制品工业化加工操作没有统一的规范规程，缺少利用马铃薯全粉进行的后续主食化产品开发，包括薯饼、薯泥、薯丸、薯类面包、蛋糕及具有地方风味的中式快餐制品。在马铃薯半成品制品方面，应加快形成工业化加工体系，关注全程资源利用，一是注重产品间的合理利用，二是注重加工废渣、废液的饲料化、肥料化和能源化利用。

6. 自主创新能力有待加强

我国马铃薯加工业科技研发投入仍相对偏低，仅占销售收入的 0.5% 左右，大大低于发达国家 2% ~3% 的平均水平，加工企业缺少独立研发中心，面对快速增长的消费需求和国际竞争压力，自主创新能力亟待加强。

12.3.4 发展思路与规划

粮食安全问题是关系国计民生的重大问题，马铃薯作为保障粮食安全的重点补充作物，已被放在了关系三农、关系国民经济稳定发展的重要地位。“十二五”时期，我国将以全面建成小康社会为核心任务，生活水平的改善、城镇化率的提高将直接带动消费需求不断升级，将带动一大批高附加值薯类精深加工产品生产、销售的快速增长。因此，以十八大重要思想为指导，全面贯彻科学发展观，按照《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的要求，坚持以加快产地加工为龙头，带动品种繁育和规模化种植为主线，为商品化鲜薯物流与加工转化并举服务，通过自主创新，突破制约发展的装备瓶颈。重点在商品化分级储藏、大宗工业化原料精深加工、主食化开发、环境优好型综合应用技术方面取得进展，走加工工艺为基础、装备突破为关键、成套工程技术为推动的协同发展道路。

1. 技术研发和产业化发展方向

（1）完善储运体系建设 “十二五”期间，推动产地商品化分级、包装、储藏、网络化物流等智能化技术发展，集成和完善技术建设大型储运基地，形成与

我国薯类产业相配套的储藏及运输体系，建立信息化、高效化公路运输与铁路运输相结合的储运模式，确保原料稳定供应，满足市场消费需求。

（2）优化加工产品结构　在确保鲜薯供应的基础上，继续发展薯类加工产业，力争至“十二五”末，薯类加工比例占其总产量的 13% 以上。加强淀粉、全粉、速冻等大宗规模化数控成套技术研发，加强适合我国人民群众消费需求的净鲜半成品加工技术的研发，继续开发并推广薯类主食化食品、薯类方便食品、薯类休闲食品、薯类保健食品等的加工技术与装备等。鼓励企业加大新产品的开发力度，增加高附加值、高技术含量深加工产品的品种与数量。

（3）促进企业节能减排　促进行业整体技术装备水平提高，推动加工产业技术升级。进一步加强薯类加工“三废”处理和综合利用技术的发展，推动企业建立好和利用好污水处理设施，排放达到国家规定要求。执行国家环保法规，加快淘汰规模过小、“三废”处理不达标的加工企业。进一步改造和提升加工设备、设施，实现循环利用。

（4）提升自主创新能力　加强企业自身研发能力和研发队伍建设，推进企业与大专院校、科研院所的合作与交流，培育技术人员，提升薯类加工产品和综合利用技术的研发能力。

2. 政策建议

（1）加大财政扶持　将马铃薯种植纳入综合性粮食补贴政策的范围，在继续实行好“良种补贴”“农机补贴”的基础上，研究马铃薯种植享受“农业综合直补”“农资补贴”等惠农政策，稳定原料供应，提高原料品质，保证薯农的生产积极性。同时，研究并实施薯类加工业购买国产加工设备补贴政策，对马铃薯加工企业的技术改造、环保设施改造与应用、自主创新产品开发等重点项目予以资金支持。

（2）加强金融支持　马铃薯种植和加工季节性较强，生产资料和加工原料集中收购，产品销售拖延时间较长，企业资金占用量较大。重点解决加工企业的贷款难、抵押难等问题，对加工企业给予适当的贷款优惠政策。

（3）实行税收优惠　落实马铃薯加工业享受国家支持粮食加工业发展的各项税收优惠政策。适当降低马铃薯加工企业增值税的税率和提高可供抵扣的进项税率，减少流通环节的税率征收。

（4）发挥行业组织作用　充分发挥行业组织联系政府和企业的桥梁纽带作用，鼓励行业组织积极参与国家、地方有关政策法规、质量标准的制订。加强对

马铃薯加工业发展重大问题的调查研究，组织企业及时反映行业情况、问题和诉求。加强行业自律，引导企业规范行为，协助推动企业诚信管理体系的构建。增进国际交流与合作，提升马铃薯加工业的国际影响力。

3. 对策措施

（1）加强政策引导　充分发挥产业政策的引导作用，推进马铃薯产品的主食化，发展高附加值精深加工业。加强对行业发展的宏观指导，完善产业、环保、财税、金融等相关政策，进一步落实加工业结构调整和转型升级，推动产业布局优化，打造龙头企业。完善落后产能退出机制和行业准入机制，引导企业淘汰落后产能，遏制低水平重复建设。

（2）发展种植储运，强化原料保障　按照规模化种植、规范化管理、现代化和信息化储藏物流的理念和模式升级传统种植业及储运业，培育集育种、种植、储藏运输、加工及产品营销为一体的综合体，鼓励原料生产基地和订单式农业相结合的运作模式，实现薯类加工业与种植业、储运业之间的优化布局、协调发展。

（3）推行清洁生产，发展循环经济　坚持可持续发展和循环经济的理念，大力发展马铃薯深度加工，提高加工产品的出品率及加工副产物的综合利用率，提高资源综合利用水平。促进节能减排，减少资源消耗及加工废水废渣等污染物的排放，推动发展资源节约、环境友好的马铃薯加工业。

（4）加强重点技术研究，促进产业升级　发展加工型专用种薯，支撑食品、淀粉、全粉、菜肴等加工业，推动我国马铃薯加工业的工艺技术改造和新技术开发应用。改变我国马铃薯加工装备制造业技术装备水平低、成套性和稳定性差、自主创新能力弱的现状，深入研发大型加工装备，重点提高薯条、全粉、半成品、分级包装、储藏设施、废渣液处理及综合利用、营养成分分离提纯技术装备能力和稳定运行及自动化、智能化控制水平，形成高水平的加工技术和装备配套能力，提高产品的科技含量和附加值，增强我国马铃薯产业的综合竞争力。

12.4　粮食干燥与商品化处理机械

为保障国家粮食安全，我国农业发展的长期目标依然是持续提高国家粮食增产能力。通过干燥、冷冻等技术手段保证粮食产后的时效和品质，进而保证粮食的可流通性和商品价值，也是保障粮食安全的产后重要措施。粮食干燥作为主要的粮食产后处理技术，未来的发展趋势必须紧紧跟随我国农业的现代化进程。针

对粮食产品多样化的发展需求，粮食干燥技术必须发展专用性强的设备，满足市场细分的需求。针对粮食产品追求名优品质的发展方向，粮食干燥技术必须发展干燥与品质的智能化控制技术，提高干燥机械的精准水平。针对粮食产业的规模化生产方向，粮食干燥技术必须发展节能技术和标准化作业，发展多样化的干燥能源并且提高干燥能源的利用率，同时加强粮食产业的标准化生产，提高产业效率。针对粮食产业的环境需求，粮食干燥技术必须向绿色环保方面发展，实现低噪声低灰尘的宜人化工作环境。

12.4.1 粮食干燥设备的生产发展概况

1. 国内情况

（1）产品生产情况及主要特点　我国粮食干燥机根据粮食种类和种植规模等国情，已基本形成大型工业化和农户小型互补的生产结构，在改变过去只注重干燥的基础上，开展了低温干燥为特点的品质保障与干燥参数融合、干燥无效耗能控制、适合不同规模的干燥设备等方面的研究。粮食干燥主要设备涵盖了规模化干燥的塔式干燥机、适合中等规模的圆筒式干燥机、流化床式干燥机、农户储藏的小型移动式干燥机共四大类型。下面就其生产情况及主要特点分别进行介绍。

1）塔式干燥机。目前，在我国北方地区的农场、粮库里普遍采用的是塔式干燥机，其常用来干燥小麦和玉米。这种干燥设备设有谷物分流装置，使谷物里外层互换位置，保证谷物受热均匀，并可使谷物的干燥不均匀性减小到 1%。塔式干燥机一般都设有废气回收装置，可提高热效率 30% 左右。这种干燥机结构简单，工作可靠，加工制造成本低，适合我国东北、华北地区大粮食部门和农垦系统使用。目前，国内研发大型塔式干燥机的部门主要有农业部规划设计研究院、辽宁和吉林省的一些高等院校，生产这种大型干燥机的国内企业主要有辽宁铁岭精工（集团）股份有限公司、哈尔滨东宇农业工程机械有限公司等。

塔式干燥机的机型有圆塔错流干燥机、方塔错流柱式干燥机、方塔混流干燥机、方塔顺混流干燥机、方塔顺逆流干燥机、方塔顺流干燥逆流冷却干燥机、方塔低温真空谷物干燥机七种。其中圆塔错流干燥机、方塔错流柱式干燥机是我国在 20 世纪 80 年代通过引进美国粮食干燥机进行消化吸收进而研发出的机型，这两种机型都存在热效率不高的缺点，一般蒸发 1kg 粮食中的水分，需要 65000kJ 以上的热量。方塔顺混流干燥机只在吉林省磐石市制造一台，主要用于研究顺流

和混流组合工艺，没有实际应用。

方塔混流干燥机在我国最早是由砖砌塔体和铸铁角状盒组成的。目前东北地区使用的混流干燥机采用全钢结构，类似于法国的拉富尔干燥机，但降水幅度比其要大，比较适合干燥东北地区的玉米和稻谷。这种干燥机的干燥室内装有交错排列的角状盒，粮食在干燥过程，自上而下可被其来回翻倒，粮食干燥的均匀性较好。这种干燥机在东北地区还有使用，一般蒸发 1kg 粮食中的水分，需要 6 000 ~ 6 500kJ 的热量。

方塔顺逆流干燥机采用全钢结构，降水幅度可达 15%，比较适合干燥东北地区的高水分玉米和其他粮食。这种干燥机的特点是干燥工艺由几个顺流干燥段和逆流干燥段组成。每一干燥段后均设有缓苏段，粮食在干燥过程，自上而下被角状管和通风节来回翻倒，粮食干燥的均匀性较好。这种干燥机在北方地区有不少使用，一般蒸发 1kg 粮食中的水分，需要 6 000 ~ 6 500kJ 的热量。

方塔顺流干燥逆流冷却干燥机采用全钢结构，降水幅度可达 15% 以上，非常适合干燥东北地区的高水分玉米和其他粮食。目前在北方地区广泛地使用这种干燥机。方塔顺流干燥逆流冷却干燥机的特点是干燥工艺由几个顺流干燥段和逆流冷却段组成。每一干燥段后设有缓苏段，粮食在干燥过程，自上而下被角状管和通风节来回翻倒，粮食干燥的均匀性较好。20 世纪 90 年代，在吉林龙家堡粮库、前郭新庙粮库、黑龙江齐齐哈尔二粮库、肇州一粮库，建了一批顺流干燥机示范工程。在示范作用的推动下，顺流干燥机技术迅速发展，成为现在烘干东北玉米的主流机型。

方塔低温真空谷物干燥机目前正处于试验推广阶段。国家粮食储备局郑州科学研究设计院及有关单位，于 2006 年 1 月在吉林德惠新良国家粮食储备库，建成了产量 300t/d、降水幅度 10% 的玉米低温真空干燥机系统，烘干玉米 5 000 余 t，并进行了比较完整系统的生产性试验。试验表明：使用低温真空谷物干燥机来干燥东北地区的高水分玉米高效节能，并能保证烘后粮食品质；该系统的平均产量为 17.9t/h，可使含水率 24.7% 的湿玉米水分降低到 12.6%，平均降水幅度为 12.1%；出机玉米破碎率增值 1.0%，裂纹率增值 6.4%，远远低于热风干燥机的破碎率增值和裂纹率增值；单位耗能量为 5 000kJ/kg(H_2O)，比目前广泛使用的热风干燥机节能 30% 以上。目前在东北地区仅有一台这种干燥机。

2）圆筒内循环式谷物干燥机。圆筒内循环移动式烘干机结构简单、操作方便，可以移动。用拖拉机不仅可以牵引，还可以传动各工作部件。它有以下几个

特点：①生产率高，干燥速度快。一个直径 2.4m，高度 5m，质量 1 500kg 的干燥机，每小时可烘干玉米 2t（降水 5%）。②谷物循环速度快，每 10 ~ 15min 完成一次循环，循环 20 次，就可以降水 20% 以上，且干燥均匀，混合好。③干燥机设计为内外圆筒形，机器结构紧凑，占地面积小，热空气分布均匀，粮食受热一致，而且制造容易。④干燥、缓苏同时进行，高温干燥后的谷物用立式螺旋送到上锥体上方，进行短时间的缓苏，便于谷物内部水分向外扩散，符合粮食干燥的规律，有利于保证粮食品质。⑤利用较短的干燥段和谷物高速循环流动，代替高塔慢速流动，机身高度大大减小。另外，由于采用谷物内循环省掉了庞大的提升机。因此，在相同的生产率和降水幅度条件下，机器的质量轻、体积小，大大节约钢材。⑥粮食始终处于不断混合与流动的状态，因此干燥均匀，水分蒸发速度快。⑦烘干不受原粮水分影响，水分高时可多循环一些时间。⑧不需要安装烘干机而花费土建费用。⑨采用直燃式燃油加热器，燃烧系统配置大小双喷嘴，直接燃烧与旋转风混合，风温、粮温自动测量控制。一方面保障热风温度，另一方面保障粮食温度。

目前我国广东南海机械厂、中国农业机械化科学研究院均生产这种干燥机，也用于粮食种子和蔬菜种子等的干燥。天津市液化气公司研制开发的 LPGHG-3G（4.5t）型烘干机也属于此类型干燥机。

3）低温循环式谷物干燥机。低温循环式谷物干燥机是水稻产区最常见的干燥机型，循环式干燥机由供热装置、粮食自动控制装置和主机三大部分组成。主机部分主要包括干燥箱、定时排粮机构、输送搅龙、提升器、卸粮装置、吸引风机、清粮机构、传动机构等。工作中，粮食装入料斗，经提升机送至干燥机顶部，直至装满整个干燥机。干燥过程中，谷物缓慢下落，流经干燥部后由下搅龙送至提升机下部，再由提升机向上输送，由上搅龙横向均匀撒下，经过一次干燥的谷物在储留部缓苏一段时间后，再次流往干燥部，再次受热干燥，如此反复循环直至达到设定的水分值。这类干燥机的容量小到 1t 左右，大到 10t 以上。还可将数台以至数十台干燥机并列配置，组成大规模谷物干燥设施。干燥机的控制系统根据设定的干燥温度自动调节燃烧器的开闭，保证不会因过高的干燥温度而损害谷物的品质。最新的机型采用了计算机自动控制系统，自动控制干燥速度，自动测定谷物水分，达到设定的水分时自动停机。干燥过程的自动化不仅保证了干燥质量，而且减轻了劳动强度，提高了效率。目前，福州三发发干燥设备有限公司、上海三久机械有限公司和金子农机（无锡）有限公司均生产这种形式的干

燥机。

由福州三发发干燥设备有限公司研制开发并生产的5HSC低温循环式谷物干燥机是一个系列产品，可对稻谷、小麦、玉米、高粱、豆类、种子等物料进行干燥。其主要特点是：低温度，大风量，薄谷层，干燥品质好，不影响发芽率；可设置干燥温度、作业时间并自动控制工作过程；占地面积小，无需增添辅助设备，操作简单，并设有故障报警系统；受热时间较短，缓苏时间较长，干燥温度稳定，干燥均匀，热耗低。该系列产品有15型、30型、45型、60型等。

由上海三久机械有限公司生产的NEWPRO系列循环式谷物干燥机，可用于稻谷、小麦、玉米、高粱、黄豆等作物种子的干燥，是国家农业部推荐机型之一。该机特点是：干燥速度快，采用双喷嘴双风门比例式燃烧器，热效率高；采用低温大风量排风机，烘出的是凉谷物，品质好；采用计算机自动监控含水率，确保烘干的水分要求；采用强制分散装置，烘干的均匀性好；采用多层全自动运行监视系统，操作简单。

4）小型谷物干燥机。河南南阳光辉机械厂研制生产的立式小型谷物干燥机，已获得国家专利。该机型适用于小麦、稻谷、黄豆等颗粒状作物及各种颗粒饲料的干燥作业。该机属于振动流化、循环式粮食干燥机，风运自动提料，有效地减轻了农户晒粮的劳动强度。该机由干燥机主体、气化燃烧炉、鼓风机、缓苏仓、提升装置、余热回收及杂质降温器、电气控制部件等组成。该机采用热风干燥加缓苏温湿度调节、冷却、循环批式干燥原理与工艺，使物料处于沸腾流化状态，强化了传热传质，干燥速度快、强度高、无死角、均匀一致，燃烧炉设计先进、燃烧完全、热效率高。整机占地面积1.8m^2，并配置移动轮，转移场地方便。根据农村能源实际，可燃木柴、煤、柴（煤）油，每12～15kg木柴能干燥谷物0.8～1.2t，并将谷物清选集于一体，有效地进行谷物与碎茎、瘪谷、沙土等杂质的分离，具有杀虫灭菌的效用。

中国农业大学研制开发的5HPN-3M农用平床式逆流干燥机，整机结构简单，操作使用方便，应用性强。该机采用可拆装结构，模块化设计，一般2～3人半天时间就能安装结束，不需要土建基础，场地转移方便。热风温度和出粮水分均可预先设定，机器自动工作。易于农村初学者掌握。该机结合批量与连续干燥方式，适应多品种谷物干燥，并且可自动控制设定谷物干燥温度，确保谷物干燥品质。该机采用逆流大风量干燥技术，热能利用率高。

农业部规划设计研究院研制的移动式粮食干燥机，采用换热简便的热风炉作

为热源，以煤、油和农作物秸秆等生物质材料作为燃料，非常适合粮食产地的县、乡、村基层单位以及粮食生产专业户、种粮大户等用于玉米、小麦、大豆、稻谷的干燥处理。该机谷仓容量小于 2.5t，干燥后粮食水分不均匀度小于 2%，每小时可干燥 1t 左右的粮食，而且整机质量只有 3t，并且自带轮胎，机器不受工作场所的限制，可以非常方便地移动。

（2）产业结构情况　20 世纪 90 年代以来，随着农村改革的深入发展，我国农村经济和农业生产力得到较快的发展，专业化、集约化的规模经营也有新的发展。特别是大型粮库、国有农垦系统的种子和粮食生产基地，逐步装备起成套的谷物干燥设备，并与仓储、加工、成品粮调度等设施配套成龙，成为我国粮食烘干机械的主要应用代表。同时，也出现了四川省三台烘干机械厂、辽宁省铁岭精工机械厂、黑龙江红兴隆机械厂等干燥设备的专业化生产厂，涌现出了中国农业机械化科学研究院、农业部规划研究设计院、四川省农业机械研究设计院、中国农业大学以及黑龙江、辽宁的一些农机研究部门和大专院校等开展粮食烘干机械研究，并取得了许多成果。

1996 年起，台商独资企业上海三久机械有限公司生产的循环式低温干燥机、日商独资企业金子农机（无锡）有限公司经销的种子专用干燥机和通用型干燥机等也进入我国市场，并带动了南方水稻产区干燥机械化技术的发展。这些干燥机尽管价格偏高，但由于具有使用性能良好，可靠性、自动化程度高、烘干品质好、售后服务周到等特点，依然受到用户的欢迎，市场前景看好。目前，江苏、浙江、广东等地该类干燥机保有量已达 1 000 台左右。表 12-3 中列出了两家企业同类低温循环式干燥机产品技术性能对比。

目前，东北地区的玉米年产量约为 5 000 万 t。其中乙醇汽油、淀粉加工等企业在收购季节消耗湿粮约 1 000 万 t，湿粮就地加工有逐年增加的趋势。有特殊要求而需人工晾晒的粮食占很少的部分。每年约有 3 500 万 t 的湿粮需要干燥。而我国东北地区现有各种新旧干燥设施 2 000 多套，只有 3 000 万 t/年的烘干能力。东北地区现有干燥机中，比较完善且能正常使用的是世界银行贷款改善中国粮食流通设施项目和国家储备粮库建设项目中为粮食流通储备体系配套建造的两批干燥机。近几年中储粮系统也建造了少数干燥机。目前这些粮食干燥机的使用率比较高，使用效果也比较好。而部分粮食企业自筹资金建造的干燥机则存在很多问题，并且受市场行情和收购资金短缺的限制，这些简陋的粮食干燥机使用率不高且使用效果不稳定。由于粮食仓库经营体制改革和收购量的不稳定，东北地

表 12-3　两家企业同类低温循环式干燥机产品技术性能对比

公司 参数	上海三久机械有限公司 低温循环式干燥机 NEW PRO-120H	江苏久阳农业机械有限公司 低温循环式干燥机 5HXG-100
处理量	稻谷:2 800 ~ 12 000kg 小麦:3 400 ~ 14 550kg	稻谷:1 000 ~ 10 000kg 小麦:1 200 ~ 12 000kg
设备配置	干燥部总成、下本体总成、上本体(缓苏部)、提升机总成(含电动机胶带)、风机(含通道)、排尘机(含通道)、在线水分计、上搅龙总成、控制箱、燃烧箱、燃料箱、其他(附件箱/楼梯);燃烧机形式:枪型双喷嘴,双风门比例式自动控制;燃烧机点火方式:高压自动点火;安全装置:热动电驿、风压开关、满量警报、定时开关、燃烧机熄火、控制熔体、异常过热等	电阻式在线自动水分仪;砻糠无压热风炉;自动控制,过度烘干自动停机;横向八槽干燥部;离心式排风机;故障报警;风压传感器、自动温控、缺相与过载保护、定时开关
减干率	(0.5% ~ 1.0%)/h	(0.5% ~ 1.0%)/h
外形尺寸	3 609mm × 1 941mm × 8 956mm	3 600mm × 1 970mm × 7 730mm
动力	使用燃料:煤油或高级柴油(0 号柴油);所需动力:单相/三相,220V/380V,60Hz,6.35kW;最大燃烧量:17.5L/h	最大用电量:4kW
烘后爆腰率增加值	≤3%	≤3%
烘后破碎率增加值	≤0.5%	≤0.5%
自动控制	CS-R 机上型计算机水分计:①机上型计算机水分计,准确控制含水率;②干燥至设定水分,即自动停机;③实时监测干燥中稻谷的含水量;④防止过度干燥,可确保米质,避免失重及浪费油、电、时间	电阻式在线自动水分仪和过度烘干自动停机控制装置
市场售价	15 万元	15 万元

区粮食干燥机基本上是有粮源和储备粮指标的粮库在使用，无粮源地方长期停用。另外，随着地方粮食局不再参与粮库的经营活动，其对粮仓机械也不再进行行业管理和经济投入，同时由粮库自筹资金建造的干燥机为数不多。所以在我国东北地区，新建粮食干燥机的速度赶不上老旧干燥机报废的速度，该地区实际的粮食干燥机保有量正逐年下降。

从企业的发展情况看，2009 年全国共有 13 家企业和 1 家科研院生产的 38 种

型号的 141 台干燥机入选 12 个省市政府的农机购置补贴项目。13 家企业中：上海三久机械有限公司的产品占总产品数的 46.10%，排名第一位。其次是金子农机（无锡）有限公司，其产品占总产品数的 13.50%，排名第二位。江苏久阳农业机械有限公司的产品占总产品数的 9.20%，我国大陆其他企业产品占总数的 31.20%（图 12-38）。38 种型号的产品中，我国大陆企业生产的 5H 系列组合式粮食干燥机型占总产品的 23.40%，入选程度最高。而日资企业、我国台湾独资企业的机型主要以通用型谷物干燥机、远红外谷物干燥机、低温循环式干燥机、通风干燥机为主。例如金子农机（无锡）有限公司的 CEL-1000 型、RVF-1000 型，上海三久机械有限公司的 PRO-300H 型、NEW PRO-120H 型和 NEW PRO-60H 型低温循环式干燥机以及 SKS-580CG 型（单层）和 SKS-480G 型通风干燥机。从工作能力和技术指标上看，很明显上海三久机械有限公司和金子农机（无锡）有限公司的产品自动化程度高，而且处理能力强。政府补贴的最高额度为 5 万元。

2010 年全国共有 43 家企业的 85 种型号的 491 台干燥机入选 23 个省市政府的农机购置补贴目录。43 家企业中：上海三久机械有限公司的产品占总产品数的 31.60%，依旧排名第一位；金子农机（无锡）有限公司的产品占总产品数的 12.80%，位列第二；而第三名的江苏久阳农业机械有限公司，其产品占总产品数的 12.40%；在剩余的产品份额中，合肥金锡机械有限公司、江苏三喜机械有限公司、台州市一鸣机械设备有限公司、哈尔滨东宇农业工程机械有限公司、长春吉大科学仪器设备有限公司、安徽山水农业科技有限公司、无锡市久川机械设备有限公司及北京华珍烘烤系统设备工程有限公司共 8 家企业的产品占总数的 24.60%（图 12-39）。综观 85 种型号的干燥机机型，小到政府补贴只有 1 300 元的热风炉，大到政府补贴 12 万元的谷物干燥塔，受补贴的干燥机种类非常多，覆盖了我国从南到北从东到西大部分地区的粮食产后干燥需求。其中地方政府的补贴力度也体现出来，例如内蒙古对哈尔滨东宇农业工程机械有限公司的 5HSH-15 型粮食干燥机、黑龙江农垦白桦清选机械有限公司的 5HH-300 型粮食干燥机、黑龙江省牡丹江垦区兴凯湖机械有限公司的 5HH-25 型（4%）粮食烘干塔的配套补贴金额都达到了 8 万元，极大地推动了地方粮食产后加工业的发展。

（3）市场发展情况与需求、趋势预测　目前，我国粮食干燥的实际情况分为以下几个方面：一是随着我国粮食产量的逐年大幅度提高，粮食干燥的需求日益迫切；二是北方地区粮食干燥的机械化程度远远高于南方地区，南北差距较

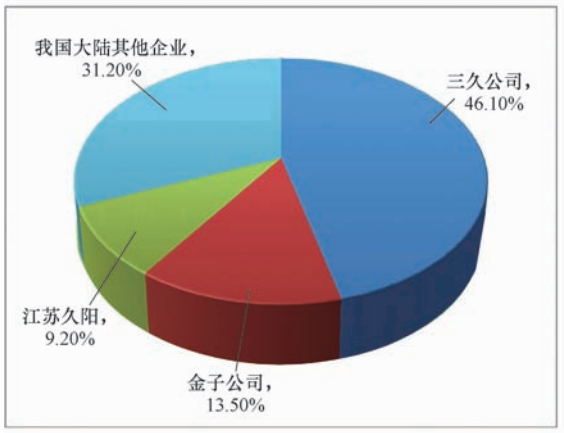


图 12-38　2009 年干燥企业产品份额

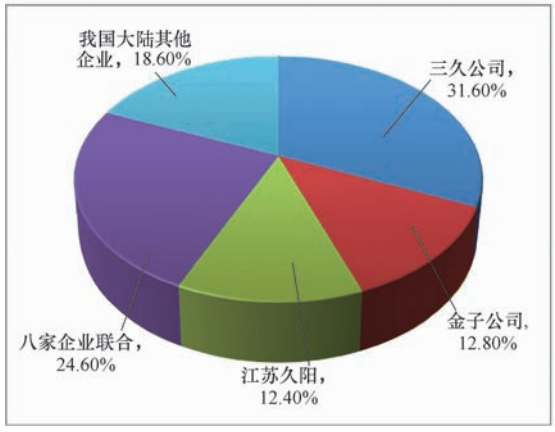


图 12-39　2010 年干燥企业产品份额

大；三是我国粮食干燥设备正处于更新换代的时期，但干燥机的淘汰速度比不上日益增长的粮食增产速度；四是我国粮食干燥企业发展虽然很快，但是企业状态良莠不齐，行业标准不统一，制造水平较低；五是我国粮食干燥技术的发展较为迟缓，技术应用程度不高。

未来我国粮食干燥业的发展还要从跟踪国际粮食干燥前沿技术出发，结合我国国情进行技术创新，以控制智能化、能源多样化为我国粮食干燥技术研发的基本原则。未来 5 ~ 10 年我国粮食干燥技术将在以下几个方面获得较快发展：南方粮食干燥设施建设的科学模式及适用的技术和装备，精准干燥技术，干燥通风技术，节能和生物质能源利用技术，智能化控制技术，干燥系统除尘技术等。

2. 国外情况

（1）产品生产情况及主要特点　国外现在使用的粮食干燥机按其结构及干燥原理来分主要有横流式、顺流式、混流式、逆流仓式和移动式内循环五种。下面就其生产情况及主要特点分别进行介绍。

1）横流式粮食干燥机。横流式粮食干燥机是一种大型塔式高温快速干燥机，是美国目前使用最广泛的一种粮食干燥机。国外生产横流式干燥机的主要厂家有美国的 Zimmerman，Airstream，Superb，Behlen，GSI，M-C 等公司。在横流式粮食干燥机里，热风和粮食的流动方向是互相垂直的。横流式粮食干燥机沿高度方向分为干燥段和冷却段，一般多采用两个风机。目前横流式粮食干燥机的发展，主要放在如何提高干燥后粮食水分的均匀性上，各国的研究机构在这方面进行了大量研究，归纳起来，有以下几种措施：

① 粮食流换位。为了改善横流式干燥机的干燥不均匀性，可在横流干燥机的网柱中部安装粮食换流器，使网柱内侧的粮食流到外侧，外侧的粮食流到内侧，这样就能降低干后粮食水分的不均匀性。美国 Thompson 的研究表明，采用粮食流换位，不仅可以大大减小粮食的水分梯度，还可以降低粮温。而 Jones 利用模拟方法研究了换流器对粮食水分差的影响，他发现：当谷层厚度为 310mm 时，采用一个、两个或三个换流器，可使水分差分别减小 53%、48% 或 63%。采用换流器后热耗略有增加，粮食温度可降低 5℃。

② 差速排粮。为了改善干燥的均匀性，美国 Blount 公司在横流式干燥机的粮食出口处，设置了两个排粮轮，两轮的转速不同，进风侧的排粮轮转速较快，而排风侧的排粮轮转速较慢，这就使高温侧的粮食受热时间缩短，因而可使粮食的水分均匀一致。试验表明这种差速排粮机构两个排粮轮的转速比为 4:1 时，干燥效果较好。最近 Sukup 公司在循环式横流干燥机上也采用了差速排粮机构。

③ 热风换向。采用热风改变方向的方法，可使干燥均匀，即沿横流干燥机网柱的方向分成两段或多段，使热风先由内向外吹送，再从外向内吹送，粮食在向下流动的过程中受热比较均匀，干燥质量可以改善。

④ 多级横流干燥。利用多级或多塔结构，采用不同的风温和风向，可以改善横流干燥机的干燥不均匀性。

2）顺流式粮食干燥机。国际上生产顺流式粮食干燥机的厂家有美国的 York 公司、Farrell-Rose 公司、Bird 公司和加拿大的 Westlaken 公司等。在顺流式粮食干燥机中，热风和粮食的流动方向相同，最热的空气首先与最湿的粮食接触，因

而可以使用较高的热风温度。一个单级的顺流式干燥机一般均有一个热风机和一个冷风机。大多数的商业化顺流式干燥机设有二级或三级顺流干燥段和一个逆流冷却段，在两个干燥段之间设有缓苏段。就目前发展而言，顺流式粮食干燥机还需要解决以下几个问题：

① 顺流式干燥机的粮层较厚，粮食阻力大。热风入口位置高，热损失大，故能耗较高，应在结构参数上进行优化，研究其降低能耗的措施。

② 对多级顺流式干燥机的级数进行优选，并研究顺流式干燥机的自动控制技术。

③ 顺流式干燥机热风入口处，漏粮斗要采用特殊的隔热材料。

④ 缓苏段的参数选择和效益分析。

⑤ 顺流式干燥机采用的温度很高，最高温度可以达到2 700℃，所以安全防火是一个必须要研究解决的问题。

3）混流式粮食干燥机。混流式粮食干燥机是目前世界上应用最广泛的一种粮食干燥设备。世界上生产大型混流式干燥机的公司很多，主要有丹麦的Cimbria公司，法国的Law-denis公司，英国的Carier公司、Bentall公司和Allmet公司，瑞典的Svegma公司，俄罗斯的QCP公司，还有加拿大的Vertec公司、德国的Stela公司、意大利的Mulmix公司等。俄罗斯生产的粮食干燥机几乎全是混流式的。混流式干燥机的特点是机内布置有多排五角形气道（角状盒），热风从干燥塔中间或一侧进入进气角状盒，穿入粮层，再从位于其旁边（上方和下方）的排气角状盒排出，热风相对于粮食的运动既有顺流又有逆流，所以称为混流式干燥机。

混流式干燥机的新发展有脉动式排粮装置、变温干燥工艺、可变的冷却段、余热回收、二维混流式干燥机模型等，如丹麦的Cimbria公司、法国的Law-Denis公司和瑞典的Svegma公司等均采用脉动式排粮装置。另外，国外公司对角状盒的设计进行了深入的分析研究，开展角状盒的形状、尺寸、配置与干燥机性能关系的研究，如粮食品质、干燥效率、单位热耗与角状盒的关系。有的公司还开展滞留时间与粮食在机内位置关系的研究。

4）逆流仓式谷物干燥机。在逆流仓式谷物干燥机中，热风与粮食的流动方向相反。最热的空气首先与最干的粮食接触。粮温接近热风温度，故使用的热风温度不可太高，而低温潮湿的粮食则与温度较低的湿空气接触，因而易产生饱和现象。逆流仓式干燥机一般由一个圆仓和多个底板组成。国外生产逆流仓式干燥

机的公司有美国的 Shivvers、Sukup、Stormore、Behlen 等和日本的金子、山本制机株式会社等。目前国外逆流仓式干燥机的发展有以下几方面：

① 采用多段变螺距变直径的扫仓螺旋，以使粮层表面保持平整，透风均匀。

② 增设粮食搅拌装置，提高生产效率，降低风阻，提高干燥的均匀性，促进上下层粮食的混合。

③ 改进通风底板结构，如增加有效通风面积、提高支撑板强度、利用特殊材料等。

5）移动式内循环粮食干燥机。随着农村经济的发展以及粮食收获作业的机械化，农村对中小型移动式粮食烘干机的需求日益迫切。生产移动式内循环粮食干燥机的外国公司有英国 Master、美国 Moridge 公司、意大利 Mecmar 公司、英国 Lely 公司、Alvan Blanch、法国 Law Denis、意大利 Agrex 等。近年来国外许多干燥机公司对移动式内循环粮食干燥机进行了大量的研究和改进，使干燥机的效率、干燥质量、操作方便性和对不同粮食的适应性大大提高，出现了不少新结构和新设计。

① 为了提高粮食的干燥质量，在机内立式螺旋上方设置清粮部件，可以在粮食循环过程中清除细杂物、草籽和颖糠，烘后粮食清洁整齐，如美国 Moridge 公司的干燥机。

② 采用伸缩式外筛筒和绞盘式传动装置，以适应不同批量的粮食，改变烘干稻谷时的缓苏比，如英国 Master 公司和意大利 Mecmar 公司的移动式粮食干燥机。

③ 采用高风量、低噪声、双轴流式风机，以便提高干燥速率，改善机内气流的均匀性。

④ 采用折叠式卸粮螺旋，改善通过性能。

⑤ 在热风室内设置导流板，使热风室内的风量分布均匀，温度一致，如英国 Lely 公司的干燥机。

⑥ 所有公司的圆筒形循环式干燥机均为移动式干燥机，既可由拖拉机动力输出轴传动，也可以用电动机驱动。

（2）产业结构情况　国外粮食干燥技术研究起步于 20 世纪 40 年代，大体经历了三个阶段。20 世纪 50—60 年代是粮食干燥机械化阶段，20 世纪 70 年代末期基本实现了粮食干燥的自动化，从 80 年代开始粮食干燥技术向提高干燥质量和降低干燥成本的方向发展，随后，面向高效、优质、节能、智能控制的一系

列新工艺、新机型、新能源得到了高度重视并蓬勃发展起来。

美国、前苏联、日本等是最早发展粮食干燥技术和普遍运用粮食干燥设备的国家。20 世纪末，丹麦、瑞士、德国等欧洲国家注重提高本国干燥设备在设计、制造及性能等方面的水平，进入 21 世纪以来，巴西、印度、泰国等南美洲和亚洲国家开始快速发展本国的干燥技术，相对北美洲在干燥技术方面的发展有所迟缓。目前，国外粮食干燥设备的技术水平可大致以美国、俄罗斯、日本为代表来分类。

在美国，粮食干燥机械在全国应用非常普遍，主要机型有大、中、小型低温仓干燥机及大、中、小型高温仓干燥机，干燥对象主要集中在玉米和小麦方面，而且其粮食干燥机多以柴油和液化气为热源，采用直接加热干燥的方式。干燥设备在粮食进出口控制、温度控制以及出粮口粮食的水分控制等方面都达到了比较精确的作业水平。

在俄罗斯，由于前苏联遗留下来很多大型的粮食工厂化生产基地，粮食干燥机械在农场和农庄中普遍应用，而且大多以工厂化的模式进行运作。所以粮食干燥设备也以大、中型干燥方式居多，并且由于传统收获的时间较短、地理纬度较高，粮食干燥设备多采用高温干燥方式。在俄罗斯，粮食干燥设备较普遍地应用干、湿粮混合加热干燥工艺，其又被称为分流循环干燥工艺。此种工艺具有一次降水幅度较大，能源消耗较小，粮食干燥后品质较好等优点。干燥设备多采用柴油和煤油为热源，也属于直接加热干燥的方式。

在日本，粮食干燥技术是从第二次世界大战后开始发展起来的。由于传统的种植和饮食习惯，加上其地理位置的局限，日本主要发展以干燥水稻为主的中小型设备。在经历了平床静置式干燥机、循环式干燥机和连续移动式干燥机等发展阶段后，目前比较普遍运用的机型有以下三种：小型固定床式谷物干燥机、小型循环式谷物干燥机、中大型连续移动式谷物干燥机。日本谷物干燥机的特点是性能较为可靠，干燥成本较低，而且干燥过程的自动控制系统较为完善，设备的自动化程度较高。日本稻谷干燥机在加粮、卸粮、排尘、通风干燥、热风干燥以及谷物质量、干燥水分、干燥时间、停止时间、干燥温度及水分测定等环节基本都采用计算机控制，而且对刚刚进入干燥机的谷物水分和运行中的水分都能自动测定显示。日本农业比较重视粮食干燥后的质量，尤其是对稻谷干燥后的品质要求较高，干燥机的操作人员可以自行设定理想的脱水速率，实现干燥品质优良化。日本的谷物干燥设备多以柴油和煤油为燃料，少数以稻壳为燃料。

（3）市场发展情况与需求、趋势预测　目前，国外粮食干燥市场的发展呈

现欧美地区总量饱和、速度放慢，南美、亚洲地区重视并发展较快，非洲地区刚刚起步的局面。国际市场的需求方面也是南美、亚洲、非洲等不发达地区的技术、设备需求远远超过发达地区。国际粮食干燥企业正在转向经济发展迅速、技术设备需求大的发展中国家。总之，国外粮食干燥设备的未来发展将集中在开发和利用新能源、联合干燥技术及干燥节能减排、干燥品质保障的干燥工艺等方面，并综合考虑干燥成本（能耗）、干燥效率、干燥品质及干燥设备等各方面因素，立足市场前景广阔的国情，把粮食干燥技术发展成智能化控制程度高、节能减排效果好、粮食品质保障优的联合干燥技术。

12.4.2 粮食干燥技术的发展现状与趋势

1. 国内发展现状与趋势

（1）产品技术　我国粮食干燥始于20世纪50年代，发展初期主要以引进前苏联和日本的粮食干燥设备为主。到70年代末期，通过研究、参考国外粮食干燥机的样机，我国各高等院校和科研单位自行设计了十多种适合当时国情的中小型谷物干燥机，例如原广东省农业机械研究所研发的直接加热5H-0.5型堆放式谷物干燥机，山东省农业机械科学研究所研发的间接加热5HJ-0.5型简易谷物干燥机。80年代后，随着我国农村经济体制的改革，我国粮食干燥机的研发向着多用型、小型化的方向发展，同时对干燥热源也展开探索，先后研制成功热煤气发生炉、低热值气化炉、稻壳煤气发生炉、固体燃料煤气发生炉、无管式热风炉、液化气热风炉和太阳能干燥装置等。90年代以来，随着农村改革的深入开展，我国农村经济和农业生产力得到较快发展，专业化、集约化规模经营也有了新的发展，特别是大型粮库、国有农垦系统种子和粮食生产基地，逐步装备了成套的谷物干燥设备，并与仓储、加工、成品粮调运等设施配套成龙，成为我国粮食干燥机械主要的用户。

国内目前的粮食干燥技术主要有热风干燥、低温真空干燥、就仓干燥、热泵干燥、太阳能干燥、微波干燥、红外辐射干燥以及联合干燥八类方法。热风对流干燥依然是大宗粮食常用的干燥方法，经过几十年的发展应用，其干燥产品的质量有了进一步提高；先进的真空干燥、低温干燥等技术虽然能显著提高粮食产品的品质，但存在着设备和运行成本偏高的问题，极大地制约了先进技术装备的推广应用。不同特点的干燥方法组合是发展的方向。下面就以上干燥技术的应用及主要特点分别进行介绍。

1）热风干燥。热风干燥是传统的干燥技术，也是目前应用最为广泛的粮食干燥方法。热风干燥采用具有一定温度的热空气，经过所要干燥的粮食表面以除去粮食中的水分。目前，我国蔬菜脱水工业90%采用的是常压热风干燥，实际生产中常用的粮食机械干燥设备，仍以对流传热干燥方式为主。热风干燥可分为连续式干燥和批式干燥两大类，其热源燃料大部分采用煤炭，也有少部分利用生物质秸秆、稻壳及燃油等。在粮食热风干燥中，应用较多的是顺流式干燥、混流式干燥和流化床干燥等方式。

热风干燥操作简单，成本低廉，干燥速度快，在工作温度较高的环境下其效能较高，但因干燥处理温度高，造成部分粮食热损伤，其色香味和营养成分遭到破坏，产品档次降低，不适宜高品质粮种的干燥；而在工作温度较低的环境下热风干燥热效率大受影响，能源利用率较低，经济效益指标下降。

2）低温真空干燥。低温真空干燥处理是根据粮食水分沸腾蒸发温度的高低随环境压力大小而变化的原理，利用蒸汽射流真空技术形成具有一定真空度的空间，在真空低温状态下连续对含水率高的粮食进行脱水干燥。作业时粮食内外温度梯度小，逆渗透作用使得粮食中的水分独自移动，克服了溶质散失现象。保证粮食烘后具有原有的色、香、味，营养成分、品质基本不变，便于储藏、运输和销售。该方法具有处理量大、降水幅度高、操作灵活、使用方便等优点。其不足之处是设备一次性投资大，当前的塔形连续式真空干燥设备在干燥仓内无导向装置，被干燥物料在仓内无法横向交叉流动，仓体结构保温性、密封性要求高，干燥后粮食的品质稳定性难以保证。此外，由于真空干燥的汽化沸点低、干燥温度低，氧气含量只有常压干燥的1/20，因此可用于粮食种子的干燥。

3）就仓干燥。就仓干燥是将自然空气或加热空气作为干燥介质，对仓内高水分粮食进行强制机械通风处理。其优点是粮食收获后即可入仓，减少了仓外晾晒、烘干等环节，可最大限度地保持粮食品质，一次性处理量大，适合大批量、规模化干燥处理。

就仓干燥技术在国外发展较快，我国虽然也早有探索，但国内约80%的储粮仓为房式仓，其占地面积、体积较大，致使输送机械设备配套困难且严重不足，加之受通风、数控等相关技术发展水平的制约，使之难以达到规模应用。目前，适合我国房仓储粮形式的移动式立体就仓通风干燥技术已经在吉林、辽宁等北部地区投入实际应用，该成套设备采用组合方式，移动安装方便，可以设备移动代替粮堆移动，设备一次投资，可多次多仓使用。

4）热泵干燥。热泵技术是从低温热源吸收热量，在较高温度下放出可利用热量的技术，是一种节能效果明显而又切实可行的新型干燥技术。利用制热工质在蒸发器中减压蒸发，从干燥尾气中回收利用余热，而气态工质再经压缩机压缩后进入冷凝器，在较高温度下冷凝释放出潜热，预热新鲜空气，使干燥介质达到比废气温度还高的温度，达到干燥物料的目的。在国外，热泵干燥技术已广泛应用于谷物、果蔬、水产品等物料的加工过程。我国热泵干燥技术的研究起步于20 世纪 80 年代，近年来，虽然热泵干燥技术的研究也有一定的进展，但在粮食规模化应用方面还没有取得实际性突破。热泵干燥技术的最大特点在于低水分干燥阶段发挥最大效能，节能效果好，但物料干燥时间较长，一般每批 12 ~ 16h。

5）太阳能干燥。太阳能干燥是利用太阳辐射的热能，将湿物料中的水分蒸发除去的干燥技术，属于可持续发展的“绿色”干燥技术。太阳能储量相当丰富，到达地球表面的太阳辐射能量约为 8.5×10^{16} W，这个数量相当于目前全世界总发电量的几十万倍。我国大部分地区太阳能辐射量较大，2/3 的国土年辐射时间超过 2 200h，年辐射总量超过 5GJ/m^2。利用太阳能进行粮食干燥一般有两种方式：一是以空气或水为介质，在有阳光照射的情况下利用太阳能热水器可将水温加热到 98℃，再利用热水介质来干燥物料；二是建立暖房，将待干燥物料置于暖房内干燥。太阳能干燥最大的不足是受天气状况的影响大，且一次性投资较大。

6）微波干燥。无论是日光、热风等传统干燥方法还是比较先进的真空冷冻及热泵干燥方法，它们的传热机理均是基于对流或传导加热，热量从外部向内部逐渐传递，因此干燥时间普遍较长。微波是指频率为 300MHz ~ 300GHz、波长为 1mm ~ 1m 的电磁波。其干燥原理是依靠高频电磁波引发干燥物料内水等极性分子的运动，使物料内的水等极性分子按微波频率作同步旋转和摆动。水等极性分子高速旋转的结果，是使物料内部瞬时产生摩擦热，导致物料内部和表面同时升温，使大量的水分子从物料中蒸发逸出，从而达到干燥的目的。微波具有加热速度快、干燥时间短、选择性好、能源利用率高和便于控制等优点，但单纯使用微波进行粮食干燥时，因其穿透粮层厚度较薄，为防止能量的泄漏，其连续化、规模化粮食干燥应用受到一定的限制。

7）红外辐射干燥。红外光是介于可见光与微波之间的电磁波，波长为 0.75 ~ 1 000μm。红外辐射具有热传递效率高、加热时间短、工作环境洁净、设备噪声低、节约能源、装置紧凑、便于自动化控制、无污染、易吸收等优点，而

且能够较有效地避免或减少“爆腰”现象。红外干燥与热风干燥相比，其干燥时间缩短 1/30～1/10，能耗可降低 1/3～1/2，干燥设备的长度可缩短到原来的 1/10，温度控制精度为 ±0.01 ～ ±0.001℃。但实际应用中，红外辐射处理量较少，特别是大型红外粮食干燥机比较少见。

8）联合干燥。联合干燥的研究是近几年发展起来的，研究人员进行了多种联合干燥技术的探索和研究，如微波-热风联合干燥、射频-流化床联合干燥、太阳能-热泵联合干燥、塔式-就仓联合干燥等。联合干燥就是根据物料的干燥特点，集成两种或两种以上的干燥技术装备，实现节能、保质和高效。例如微波-真空联合干燥，采用真空可以降低水的蒸发温度，使物料在较低的温度下快速蒸发，同时还可避免氧化，改善了干燥品质。因此，将微波技术与真空技术相结合就成为一项极具发展前景和实用价值的新技术。它不仅具有干燥速度快，时间短，物料温度低，色、味及有效成分保留好等优点，而且参数容易控制，能干燥多种不同类型的物料。

（2）装备制造技术　20 世纪 90 年代以来，国家对干燥技术日益重视，各地出现了研制、推广粮食干燥机的热潮。中国农业机械化科学研究院、农业部农业工程研究设计院、中国农业大学等一些农机科研部门和大专院校相继研制成功多种机型的粮食干燥设备。许多国际企业也看好中国粮食干燥这一具有广阔前景的市场，多家著名生产企业如日本金子公司、我国台湾三久公司等相继进入市场，并带动了南方水稻产区粮食干燥机械化技术的发展。近年来，一些大型粮库和国有农垦系统的种子及粮食生产基地，逐步装备了成套的谷物干燥设备，并与仓储、加工等设施配套。辽宁铁岭精工股份有限公司生产的塔式网柱型干燥机、中国农业大学研制开发的 5HPN-3M 型平床式逆流干燥机、福州三发发干燥设备有限公式生产的 5HSC 型系列低温循环式谷物干燥机等成为我国粮食干燥设备的主要代表。同时，三久公司生产的循环式低温干燥机、金子公司经销的种子专用干燥机和通用型干燥机，由于使用性能良好，可靠性及自动化程度高，也是较好的粮食干燥设备，但价格偏高。

我国 20 世纪末设计的几种大中型谷物干燥机，主要用在粮食系统及国有农场，以干燥玉米、小麦为主。目前，我国设计生产水平介于自动化与降低成本、提高质量之间，且北方的发展优于南方。玉米干燥已基本实现机械化，但很少有与之配套的自动控制系统。1999 年东北农业大学研制出的 SHGS 型谷物烘干机采用了中子式粮食水分在线监测方法，2000 年黑龙江农业机械工程科学研究院

对单片机控制技术在谷物干燥水分监控系统中的应用进行了研究，研制出了以单片机为核心的 ZLS 系列粮食水分在线监测仪以及配套的 PLC 自动烘干控制柜。目前国内研究成果中大多数成本较高，或结构复杂，或操作复杂，或不适合在线测试，在线检测、数据传输尤其是具有智能控制功能的测定仪还处于研究试验阶段。

2. 国外发展现状与趋势

（1）产品技术　国外发达国家的粮食干燥技术已经非常成熟，对粮食干燥机理、干燥工艺的研究已经大范围地应用于规模化的设备生产。随着信息技术的进一步发展，国际主要的粮食干燥企业的研发重心都放在干燥过程的智能控制方面。

从 20 世纪 60 年代起，国外学者就开始研究干燥过程的自动控制问题，一些发达国家，如美国、日本产的谷物干燥机已经实现了干燥作业半自动化和干燥介质温度控制的自动化。到了 20 世纪 70 年代，随着电子技术的飞速发展，应用传统控制理论实现了谷物干燥过程的自动化。目前由于微型计算机的迅速普及，智能控制系统如专家系统、模糊逻辑控制等已经开始应用于谷物干燥过程控制。

瑞典的 Nybrant（1985 年）选择自动回归移动平均（ARMA）模型表达横流式干燥机的动态特性，在实验室的横流式干燥机上进行了验证性试验，控制误差的标准差在后 50 个样本期间是 0.13℃。Forbes（1984 年）和 Eltigani（1986 年）设计了基于模型的干燥控制器，干燥速率参数根据模型预测值和传感器出口实测的水分含量之差间歇式更新。Zhang 等（1989 年）率先研究了连续横流式粮食干燥塔的模糊控制方法，实现了出口粮食水分的安全控制。Zhang 等（1994 年）开发了横流式粮食干燥机模糊控制器，通过调整加热器功率和排粮电动机转速来控制干燥机出口水分。法国的 J. L. Dirion 等（1996 年）开发了一个神经控制器，用于调整半批式试验反应器的温度，基本形成了神经网络的学习数据库，该神经控制器可以非常好地跟踪设定点和排除干扰。Jay（1996 年）初次将神经网络模型用于干燥过程预测控制。I. C. Trelea 等（1997 年）设计了用于批式干燥过程的非线性预测优化控制算法，可处理重要的干扰和失效。Taprantzis 等（1997 年）研究了流化床干燥器的模糊控制问题，并与 PI 控制结果相比较，结果表明模糊控制比 PI 控制具有更好的动态特性。Siettos 等（1999 年）分别研究了流化床干燥器的模糊控制过程和 PID 控制过程，结果表明，模

糊控制较 PID 控制具有更好的控制特性，控制器的设计也较传统的非线性控制器简单。密歇根州立大学的 F. W. Bakker 和 Liu Qiang 出席 1999 年 IFT 年会提交的论文提出了一种新的干燥机含水率控制策略，它由模型预测控制算法和近年来迅速发展的分布参数过程模型组成，对控制非线性和静态时域过程非常有效。Thyagarajan 等（2000 年）利用模糊逻辑和遗传算法，研究了粮食干燥过程热风系统智能控制问题。同年，Misa、Korobova 和 Valdovinos 等人相继研究了物料干燥质量和食品干燥过程的模糊神经网络优化控制问题。密歇根州立大学的 Liu Qiang（2001 年）提出了基于 Labview 的横流式干燥机模型预测控制器，水分控制精度达到 ±0.7%。控制器对入机粮食含水率较大范围的变化以及热风温度的大阶跃变化都能进行良好补偿。Helge Didriksen（2002 年）开发了一个用于滚筒干燥机的描述质量、能量和动量转换的动态一次法则模型，通过模拟比较了模型预测控制和传统的反馈控制，模型预测控制表现出了更优的性能。P. Dufour 等（2003 年）提出了一个全局模型来减少由基于最优化任务解决方案的偏微分方程模型所引起的在线计算时间，开发出与内模控制器（MC）相结合的一个通用的 MPC 框架，在 MC-MPC 结构中用两个反馈环来校正在线优化器的模拟误差。J. A. Hernandez-Perez 等（2004 年）提出了基于人工神经网络的传质传热预测模型，该模型将产品收缩作为水分的函数，能够精确预测传质传热，可用于干燥过程的在线状态估计和控制。从上述研究与应用进展可知，智能控制在国外干燥领域已经引起人们广泛的重视。智能控制是一种以无模型为特征的更接近于人脑思维方式的控制理论，主要用来解决用传统方法难以解决的复杂系统的控制。智能控制器的设计摆脱了系统模型的束缚，算法简单，鲁棒性强。目前，神经网络控制、专家控制和模糊控制等智能控制技术正成为先进控制的一个主要发展方向。以上这些控制方法的使用，大大提高了国外粮食干燥机的自动化水平。

（2）装备制造技术　目前国外干燥设备和食品机械水平高的国家主要有美国、俄罗斯、德国、日本、意大利和英国等。美国、俄罗斯和日本在农产品干燥设备、制造及技术性能等方面都居于世界领先地位。目前国外粮食干燥设备的制造情况总结起来，主要表现在以下几个方面：

1）干燥机类型多，规格多样化。欧美国家，如美国、英国、丹麦、加拿大等国家的粮食干燥机生产率都比较高，如美国的贝克利公司、丹麦的西勃利亚公司都是生产大型粮食干燥机的厂家，其产品主要用于干燥玉米、小麦；日本虽然人多地少，但却有几家生产粮食干燥机的专业厂，如金子、静冈、山本、左竹等

公司都是生产粮食干燥机的专业厂家，它们生产的比较典型的机型是循环干燥机系列，属于中小型的粮食干燥机。

2）自动化水平比较高。从20世纪60年代起，国外学者就开始研究粮食干燥过程的自动控制问题，一些发达国家，如美国、日本产的粮食干燥机已经实现了干燥作业半自动化和干燥介质温度控制的自动化。到了20世纪70年代，随着电子技术的飞速发展，应用传统控制理论实现了粮食干燥过程的自动化。近年来，由于微型计算机的迅速普及，智能控制系统如专家系统、模糊逻辑控制等已经开始应用于粮食干燥过程控制。

3）粮食机械化干燥率高，干燥机使用普遍。美国粮食干燥已实现机械化；日本粮食干燥机的拥有量为150万台，谷物干燥机械化水平已达到90%。

4）热源以天然气、汽油、丙烷为主，污染少，设备安装和维修比较方便，可靠性高，控制比较便利。

5）以粮食品质为中心设计和使用干燥机。为在干燥过程中保证粮食的品质，一是从工艺上着手，严格控制谷温和干燥速度，如日本的循环式干燥机，干燥水稻在10h以上，降水率保持在1.2%左右；二是以干燥均匀性为重点，采取措施改进烘后粮食品质，如改进排粮机构、喂入装置以改善粮食流动和干燥的均匀性。

12.4.3 存在的问题分析

农业的改变在于老百姓观念的改变，同时在于商业模式的改变。近年来，我国粮食产业发展十分迅速，产品从单一品种向多样化发展，从普通、低档向名特优方向发展，已形成产、供、销一体化，粮食产业已成为促进农业结构调整、增加农民收入的一个重要增长点。随着人民生活水平的提高和国家工业化进程的加快，粮食的消费已从原来的数量型转向数量、质量并行的状态。大众消费市场对粮食的需求不仅提出品种多样、功能性突出等的要求，还要求粮食产品向新鲜、干净和包装精美的方向发展。随着能源供需矛盾的加剧，由粮食生产新型能源的技术逐步完善和应用，工业原料市场对粮食的数量需求不断加大，对粮食的专用品质需求逐步加强，对粮食的商品化加工要求不断提高。但是，由于目前国内在粮食产后加工方面投入不足，粮食的产后处理和加工远远落后于国际先进水平，且技术发展相对滞后，大部分粮食产品仍以原始状态上市，没有细致的等级之分，包装落后，再加上储藏、运输设备存在区域性差异，粮食产品还不能实现全

部的冷链流通，特别是产后的品质损失严重，使产前的人力、物力和财力造成极大的浪费。

由于我国粮食干燥技术和设备的研究起步晚，就目前的情况来说，既有干燥机数量不足的问题，也存在干燥机质量不过关的问题，同时，南北地区情况差异明显。具体而言还存在以下几方面的问题：

1）干燥过程的机理研究不够透彻，对于干燥工艺及设备的制造工艺，目前为止还没有达成行之有效的行业共识或行业标准。我国粮食干燥技术标准的研究工作已经落后，业内依旧采用20世纪80年代的国家标准（如粮食烘干机试验方法、粮食烘干技术条件），而其中的某些条件和指标已不适应当前干燥机发展的需要，例如现有标准中缺乏干燥机生产能力和单位热耗的折算方法，有关干燥品质的指标也还不够完善合理，有些指标未规定统一的测试方法，有些指标比较落后，因而制约了粮食干燥新设备、新工艺的开发、推广和应用。相比之下，国际上粮食干燥技术标准已经修订了多次，如ISO11520-1：1997；国际上农用粮食烘干机烘干性能的测定标准也经过多次修订，如ISO11520-2：2001。在这些新的干燥技术标准中都有主要干燥性能参数的折算方法，采用的模型和公式多达数十个，我国的粮食干燥技术标准中尚无这方面的规定。

2）设备制造厂商的规模普遍偏小。全国谷物干燥机生产厂家达50多家，而其中能形成规模化生产的仅20多家，而且总体来看，大部分的设备生产批量都不大。2008年由中国采购与招标网、中国名企排行网联合主办的首次中国干燥机制造企业评价推介活动，推出“2008中国干燥机制造企业30强”榜单，在这个榜单中只有哈尔滨东宇农业工程机械有限公司一家谷物干燥机的生产厂家。

3）技术含量偏低，自动化程度低，成熟的机型不多。从前面中外粮食干燥机机型、技术的对比中，可见我国干燥设备的低端化。对比同等价位类似的干燥机产品，可明显看出，国外产品人性化程度高，考虑能源环境因素更多。

造成这些问题的原因是多方面的。首先是我国粮食规模化生产基地太少，虽然国家已经开始大力打造一批标准示范基地，但无法及时缓解目前买方市场需求和能力不符的状况。其次是企业自身目光不够长远，技术储备和研发能力不足以支撑企业长期良性的发展。还有政府对粮食干燥机生产商的扶持力度和对干燥机购买农户的补贴力度还需要进一步加强，以弥补因银行加息导致的企业资金链断裂和农户种粮赔钱的情况。

12.4.4 技术和产业发展思路与规划

目前，我国国民经济正处于工业化、城镇化加快发展的时期，农业正处于从传统农业向现代农业转变的关键时期，农业生产要素投入结构和农业生产方式正在发生深刻变化，对农业机械化和农机工业发展提出了更高要求。对此，国务院印发的《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》提出了两个阶段的发展目标：到2015年，农机总动力达到10亿kW，主要农作物耕种收综合机械化水平达到55%以上；建成协调有效的农机工业自主创新平台，形成若干具有自主知识产权的产品和技术，部分产品达到国际先进水平。到2020年，农机总动力稳定在12亿kW左右，主要农作物耕种收综合机械化水平达到65%；农机工业技术创新体系得到完善，形成若干具有国际竞争力和品牌影响力的大型企业集团，基本建成现代化农机流通体系和完善的农机售后服务网络。

今后，我国粮食干燥机行业的发展，首先要在全国现代农业示范区里建立技术先进、操作管理规范的粮食产后干燥、储存、商品化的处理企业和合作社，面向全国推广先进的粮食干燥、储存、商品化设备及技术，从而提高我国粮食的质量，逐步达到粮食全产业链发展的水平。积极协调国家各个相关部门的合作，加大政府的投资与补助力度，提高粮食品质，形成以全产业链化为中心的发展模式，大力推进粮食产后干燥、储存、商品化处理设备的研发与市场应用，提高粮食产品的附加值和加强地方人力、物力、财力等资源的充分合理利用，减少粮食产品的产后损失。同时，通过政策引导，积极鼓励社会、个人等自筹资金，加大先进技术的推广力度，逐步实现我国粮食产品的国际竞争力。

我国粮食干燥企业的发展方向将是在深入研究干燥机理和物料干燥特性，掌握不同物料的最优操作技术的条件下，开发新的和改进现有粮食干燥机。另外，我国粮食干燥机发展将以大型化、高强度、高经济性的产品为主，并在其基础上改进干燥机对原料的适应性和干燥品质，以提高干燥机质量为目标。同时，我国粮食干燥的各大企业和科研院校在进一步研究和开发后，将推出新型高效和适应特殊要求的干燥机，如组合式干燥机、微波干燥机和远红外干燥机等。

在政策方面，政府可从以下四个方面着手：

1）培育壮大粮食干燥行业的龙头企业。通过奖励技术创新、扶持资金补贴、组织贷款担保、鼓励招商引资和引导企业转型等政策措施，壮大和提升粮食干燥行业的整体效益和水平。

2）建立和完善粮食干燥的标准化生产技术体系。用企业的标准化带动国家和地方的基地、示范园的生产标准化，初步实现粮食生产、收购、筛选、加工、储存、运输等全部过程的标准化管理。

3）实施农机品牌战略。通过鼓励、认证和补贴等多种手段推动我国粮食干燥行业的龙头企业创建自己的品牌，进而带动全行业的市场竞争力的提升，打造我国粮食干燥企业的国际知名度。

4）采用多层次网络化的营销手段。依托我国粮食生产基地，重点规范和建设具有集散功能的粮食产地批发市场，同时鼓励有实力的大企业面向全国设立销售网点和开拓海外市场，还要注重展会经济的力量，组织我国粮食干燥企业参与国际型的产品展销活动，邀请国外知名粮食干燥企业参与我国农机产品的展销活动，进一步加强企业间的技术交流。

12.4.5 对策建议

综上所述，我国自主研发粮食干燥机械已有近 30 年的发展历史，今后还需要把握国家农业的发展方向，抓住当前的发展机遇，尽快建立一个成熟的产业体系，为此提出以下几点看法：

1. 加强政府的组织领导，积极稳妥地推进我国粮食干燥机械化的进程

从统筹规划、明确重点、分步实施做起，抓好行业典型并建立机械化烘干示范基地，严格粮食干燥机的产品鉴定，确保干燥机的产品质量，并尽快建立粮食烘干机械化专业技术服务组织。

2. 发展适合我国国情的实用机型

首先，当前的粮食干燥业不能片面强调低温干燥。低温干燥能保证良好的谷物品质，发芽率不受影响，爆腰、破损率很小，是理想的干燥方式。但是生产率低，直接影响经济效益。为此，应发展适合现在农村使用的烘干机，加大温度控制范围，农户可以根据需要选择低温优质干燥方法或常规食用谷物干燥方法。其次，粮食干燥机的生产企业要重视发展小型烘干机械。农户种植规模小，就不会独户或联户购置烘干机。经济发达地区逐步形成的种粮大户目前真正上规模的也不多。为此，应发展可承担 50 ~ 100 亩土地，装机容量为 2 ~ 3t 的小型干燥机，以方便广大农户购买。6t 以上的中大型机一般由村、镇农机服务组织购买经营，面向社会提供有偿服务。最后，我国粮食干燥行业应该多开发智能程度高的国产

机型、多种能源干燥机和具有节能减排效果的干燥设备。在进口干燥机、国内外商独资干燥机的市场冲击下，只有开发好适合我国国情的大、中、小型粮食烘干机，综合考虑使用经营模式及跨区流动作业的发展方向，提升干燥机的自动化程度、热效率和生产率，开发多种干燥热源的机型，研究节能减排相关技术，例如采取尾部干燥段和冷却段废气回收、烟气余热利用、设备保温等措施和更换高效换热器等，才能更好地占领我国粮食干燥市场。

总之，要大力推广我国的粮食干燥机械化，就应建立以国家投入为导向，农村集体和农民投入为主体的多元化、多渠道和多层次的投入机制，走社会化、产业化和服务化的道路，这样谷物干燥机械化才能有较为广阔的发展前景。

第 3 篇

先进制造技术

第 13 章　先进制造技术概述

13.1　先进制造技术的基本概念

13.1.1　先进制造技术的定义及特点

先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology，AMT）是指集机械工程技术、电子技术、自动化技术、信息技术等多种技术为一体所产生的技术、设备和系统的总称。先进制造技术主要包括计算机辅助设计、计算机辅助制造、集成制造系统等，其是一门综合性、交叉性前沿学科和技术，学科跨度大，内容广泛，涉及制造业生产与技术、经营管理、设计、制造和市场等各个方面。

先进制造技术的概念源于 20 世纪 60 年代，近 50 年来先进制造技术大体经历了四个发展阶段：以数控机床、加工中心和工业机器人为代表的柔性制造单元（FMC）阶段（20 世纪 60—70 年代）；以柔性制造单元加自动或半自动物流输送组合而成的柔性制造系统（FMS）阶段，仍以分布式生产过程控制为特点（20 世纪 70—80 年代）；以信息、工艺、物流、计算机集成控制为特点的集成（CIMS）阶段（20 世纪 80—90 年代）；以设计智能化、单元加工过程智能化和系统整体管理智能化为特征的智能集成制造系统阶段（20 世纪 90 年代至今）。在发达国家，第一、第二阶段技术已经成熟并实现了产业化，第三阶段尚在开发完善阶段，智能化集成制造技术也在研究探索中。与传统制造技术相比，先进制造技术主要有以下几个特点：

（1）群体与动态的综合性　先进制造技术是一个技术群。它融合了各专业学科中的先进技术，而不是某项具体技术；并且这个技术群是一个动态技术，而不是一成不变的。因此，先进制造技术具有群体与动态的综合性。

（2）虚拟与现实的统一性　虚拟与现实的统一性，使得制造合作空间可扩展到全球范围。扩大了产品研发的支持环境，明确地提出了供应链问题，将产品开发工作从一个厂走向多个厂，从国内走向国际，可以选用其他制造厂商的产

品，包括整机、功能部件和元件，从而提高了产品的质量，加快了制造进程。利用强有力的计算机仿真技术实现产品设计、工艺设计、加工生产等全过程模拟，在产品设计阶段就能及时发现该阶段和后续阶段的问题，进行协调更改，以避免在实际加工时才发现问题所造成的损失。因此，它既是虚拟的，又是现实的。设计制造一体化，体现了设计与制造的密切结合，这里的设计不仅是指产品设计，而且包括工艺设计、生产调度设计、质量控制设计等。虚拟制造的实质是“在计算机中的制造”，即在计算机中完成制造全过程的模拟和演示，以便检验涉及全过程的正确性、可制造性，优化设计方案，从而缩短产品的研制周期，降低产品成本和开发风险。

（3）技术与管理的融合性　通过过程管理来协调产品开发过程中各阶段间矛盾的问题，体现了技术与管理的结合，由技术和管理共同解决生产中的问题，提高了生产效率。计算机集成制造技术是制造技术与信息技术结合的产物，出现了计算机辅助设计和制造、工艺过程设计和管理等多种技术，而且出现了柔性制造、敏捷制造、虚拟制造、网络制造、智能制造和协同制造等多种制造模式，有效地提高了制造技术的水平，扩展了制造技术的领域。先进制造技术必须与先进管理技术相结合才能发挥更大的效能。

（4）制造概念的系统性　信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。从此，制造就以系统的新概念问世，它由物质流、能量流和信息流组成。其中，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制。制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论等相结合，形成了新的制造学科，即制造系统工程学。

（5）材料成形机理的科学性　在材料成形机理上过去主要分为冷加工和热加工两大方面，这种以冷热来分类的方法从科学发展的角度出发来看，存在着局限性。因为，压力加工中既有热锻、热辗等，又有冷轧、冷冲等；在切削加工中也有在热态下加工合金钢的方法。现在已从主要的冷分离去除加工和热变形流动加工发展为去除加工、结合加工和变形加工；同时从加工所用能源上看，已从主要利用机械力的常规加工发展为利用光、电、电化学、激光、电子、离子和超声等物理化学方法的特种加工。

（6）制造时效的生命周期性　制造的范畴从过去的设计、加工和装配发展为产品的全生命周期，包括市场调研、设计、制造、销售、维修和报废处理等。制造技术是一个永恒的主题，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是国

家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。制造业的发展和其他行业一样，随着国际国内形势的变化，有高潮期也有低潮期，有高速期也有低速期，有国际特色也有民族特色，但必须重视，且要持续不断地发展。

13.1.2 典型的先进制造系统

1. 并行工程系统

并行工程（Concurrent Engineering，CE）生产方式是一种对产品及其相关过程（包括制造和支持过程）进行并行的、一体化设计的系统集成工作模式。这种工作模式要求产品开发人员在一开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废的所有因素，包括设计、制造、质量、成本、进度计划和用户要求，通过仿真和评估，反复修改和完善设计方案，力争产品生产一次成功。在并行工程模式下，每个设计者在各自的工作站上可以像在传统工作站上一样进行自己的设计工程，同时又可以与其他工作站进行通信，根据目标要求既可以响应其他设计人员的要求修改自己的设计，也可以要求其他设计人员响应自己的要求，这样多种设计工作可并行协调地进行。

2. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System，CIMS）是一种组织企业的哲理和思想，其核心内容是：制造企业中从市场预测、产品设计、加工制造、经营管理直至售后服务是一个不可分割的整体，需要统筹考虑。整个制造过程的实质是信息采集、传递和处理，最终生产的产品可看做是信息的物质表现。集成是 CIMS 的核心，这种集成不仅是物理系统的集成，更重要的是以信息集成为特征的技术集成和功能集成。计算机是集成的工具，计算机和辅助单元技术是集成的基础，信息交换是桥梁，信息共享是关键。

3. 网络化制造系统

网络化制造是指通过采用先进的网络技术、制造技术及其他相关技术，构建面向企业特定需求的基于网络的制造系统，并在系统的支持下，突破空间对企业生产经营范围和方式的约束，开展覆盖产品整个生命周期全部或部分环节的企业业务活动（如产品设计、制造、销售、采购、管理等），实现企业间的协同和各种社会资源的共享与集成，高速度、高质量、低成本地为市场提供所需的产品和服务。

4. 精益生产系统

精益生产（Lean Production，LP）的实质是在产品开发、生产过程中，通过项目组和生产小组的形式，把各方面的人才集成在一起，把生产、检验与修理等场地集成在一起，简化产品的开发、生产、销售过程，简化组织机构，实现最大限度的精简，获得最大效益，提高企业竞争力。

精益生产的特征是：重视客户需求，以最快的速度和适宜的价格提供质量优良的适销新产品去占领市场，并向客户提供优质服务；重视人的作用，强调一职多能，推行小组自治工作制，赋予每个员工一定的独立自主权，形成企业文化；精简生产中一切不创造价值的工作，减少管理层次，精简组织结构，简化产品开发过程和生产过程，减少非生产费用，强调一体化质量保证；精益求精、持续不断地改进生产、降低成本，追求零废品、零库存和产品的多样化。

5. 虚拟制造系统

虚拟制造系统（Virtual Manufacturing System，VMS）是基于虚拟现实技术实现的制造系统，是现实制造系统在虚拟环境下的映射。VMS 的基本构成分为三级，即经营决策层、产品决策层和生产决策层。经营决策层是根据用户需求和市场信息、企业的资源及技术条件等情况，作出生产产品的种类、规模等决策。产品决策层是根据上层决策作出产品总体方案决策，并对其性能作出初步评价，对其成本进行预估。生产决策层是根据上层决策和企业人力、物力及技术资源与水平等情况，作出产品开发计划、生产任务规划、生产调度计划等决策，并在计算机上实现其制造过程，生产出数字产品。

VMS 基础理论及其关键技术包括：虚拟制造系统的理论体系，以及基于分布式并行处理环境下的虚拟制造系统的开放式体系结构的研究；虚拟环境下产品的建模技术；虚拟环境下分布式并行处理的分布式智能协同求解技术与系统，以及虚拟环境下系统全局最优决策理论与技术；应用虚拟现实技术实现虚拟环境及虚拟制造过程中的人机协同求解模型；现实制造系统与虚拟制造系统之间的映射，虚拟设备、虚拟传感器、虚拟单元、虚拟生产线、虚拟车间及虚拟工厂（公司）的建立，以及各种虚拟设备的重用性和重组性技术；VMS 集成开发平台的体系结构、构件库及用户开发环境；虚拟公司的组织、调度及控制策略与技术；综合可视化技术（包括计算机可视化技术、虚拟现实技术、多媒体技术和仿真技术）的研究与应用。与真实制造过程相比，虚拟制造具有如下特征：

1）虚拟性。基于计算机的虚拟制造环境进行产品设计、制造和测试。设计人员和用户可进入虚拟环境，“直接”改变产品的尺寸、形状、装配和结构，从不同的视点进行观察和评价。观察者还可以与过去的、现在的、甚至未来的工厂设备进行交互，通过对工厂或产品的全生命周期活动的预演，对制造过程进行体验和构想。

2）数字化集成性。虚拟制造系统实际上是一个各种仿真软件的公共通信平台，也是各种相互独立的制造技术（CAD、CAE、CAPP、CAM）的数字化集成环境，可实现各种相关技术的无缝连接。

3）分布性。可使分布在不同地点、不同部门的不同专业人员在同一个产品模型上共同工作、相互交流，实现信息共享，减少大量的文档生成及其传递时间，也减少了由此产生的误差，从而加快了产品开发过程。

4）依赖性。虚拟制造的运行及对制造过程的描述和评价基于人们对真实物理过程的理解和认识，虚拟制造运行只是对制造过程认识的综合演练，它不能产生关于实际过程的新知识，其仿真的精度也不可能高于仿真模型与真实模型的近似程度。因此，虚拟制造过程研究绝不能代替真实制造过程的试验研究。

6. 敏捷制造系统

敏捷制造（Agile Manufacturing，AM）是以竞争力和信誉度为基础，选择合作伙伴组成虚拟公司，实现信息共享、分工合作，以增强整体竞争能力，对市场变化作出快速反应，满足用户的需要。敏捷制造的含义包括：改变传统大批量生产方式；利用信息技术和先进制造技术来改进生产过程；通过建立共同的基础结构，将同一公司的不同部门及不同公司的生产过程迅速集成为一个系统，实现生产过程的改进；对迅速改变或无法预见的消费者要求和市场机遇作出快速响应。

敏捷制造的特征：通过先进的柔性生产技术、动态的组织结构和高素质的工作人员的集成，获取企业的长期利益；企业间协同合作，充分发挥各企业的优势，针对市场的目标和要求共同合作完成任务；具有高度的制造柔性，即制造企业根据市场需求迅速转产和快速实现产品多品种、变批量生产的能力；多变的动态组织结构，当出现市场机遇时，迅速组建成虚拟公司，承接的产品或项目一旦完成，虚拟公司马上解体，公司各种人员立即转入其他项目；不断提高企业职工素质和教育水平，充分发挥人的作用。

7. 绿色制造系统

绿色制造（Green Manufacturing，GM）技术是以传统制造技术为基础，并结合环境科学、材料科学、能源科学、控制技术等新技术的先进制造技术，使产品在从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中，对环境的负面影响最小，资源利用率最高，并使企业经济效益和社会效益协调一致。绿色制造技术模式是一种闭环生产系统，是一种清洁生产方式和废弃物循环利用的生产模式。

在材料选用上，绿色制造技术选择绿色材料。所谓绿色材料是指那些具有良好的使用性能，且资源和能源消耗少，对生态和环境负面影响小，有利于人类健康，可再生利用率高的材料。在产品设计时，选择绿色设计模式。绿色设计的指导思想是生产和节能减排紧密相连，综合考虑加工产品的可行性和可回收性。在生产工艺上，绿色制造技术选择绿色工艺。绿色工艺与清洁生产密不可分，又称为清洁工艺，是指既能提高经济效益，又能减少环境影响的工艺技术。在生产包装上，绿色制造技术选择绿色包装。绿色包装是指在产品包装时摒弃求新求异的消费理念，尽量选择无毒、无公害、可回收和易于降解的包装材料。在产品回收上，绿色制造技术选择绿色处理。产品的绿色处理（回收）在生命周期中占有重要位置，通过回收政策，产品的生命周期形成一个闭合回路。寿命终了的产品最终通过回收又进入下一个生命周期的循环之中，包括重新使用、继续使用、重新利用和继续利用。

8. 智能制造系统

智能制造（Intelligent Manufacturing，IM）是指在制造工业的各个环节，以一种高度柔性与高度集成的方式，通过计算机来模拟人类专家的制造智能活动，对制造问题进行分析、判断、推理、构思和决策，旨在取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动，并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承和发展。智能制造以整个制造业为研究对象，其主要研究开发目标有：制造业的全面智能化，以机器智能取代人的部分脑力劳动，强调整个企业生产经营过程大范围的自组织能力；信息和制造智能的集成与共享，强调智能型的集成自动化。其主要支撑技术有：人工智能技术、并行工程、虚拟制造技术和信息网络技术。

智能制造装备是传统制造装备广泛地与微电子、光电子和人工智能技术相结合的产物。智能制造装备是指具有一定的信息处理、通信、学习、推理、决策能

力，能适应迅速变化的市场，可采用敏捷的组织形态与控制机制的制造装备。如：智能化机床、智能机器人、智能成形设备、智能武器制造装备、智能运输工具（智能汽车、船舶、火车、飞机、航天器等）、智能生产线、智能化工厂等。智能制造装备的本质特征表现为个体的“自主性”与整体的“自组织能力”。智能制造装备是实现智能制造系统的基础。

智能制造系统结构的主要类型有：以提高制造系统智能为目标，以智能机器人、智能体等为手段的智能制造系统；通过互联网把企业的建模、加工、测量、机器人的操作一体化的智能制造系统；采用生物问题的求解方法的生物智能制造系统等。目前，较多采用的是基于 Agent 的分布式网络化 IMS 模型。

13.2 先进制造技术学科体系

先进制造技术是一个庞大的技术群，因而在不同发展水平的国家和同一国家的不同阶段，有不同的技术内涵和构成。一般分为以下三个层次：基础技术、新型单元技术和集成技术，但其中每一个层次都不等于先进制造技术的全部。

（1）基础技术　第一个层次是优质、高效、低耗、清洁等基础制造技术，它是先进制造技术的核心。其在锻压、焊接、铆接、材料、测量、热处理、表面加工、机械加工等基础工艺中大量采用。

（2）新型单元技术　第二个层次是新型的先进制造单元技术，这是在市场需求及新兴产业的带动下，制造技术与电子、信息、新材料、新能源、系统工程、现代管理、环境科学等高新技术结合而成的制造技术，如数控加工技术、无余量加工技术、机器人技术、数字化设计技术、全寿命设计技术等。

（3）集成技术　第三个层次是先进制造集成技术。这是应用信息技术、计算机技术和系统管理技术，通过网络与数据库对上述两个层次的技术集成而形成的先进制造技术的高级阶段，如虚拟技术、计算机集成制造系统（CIMS）、柔性制造系统（FMS）、智能制造系统（IMS）、精益生产（LP）、敏捷制造（AM）等。

先进制造技术所涉及的学科较多，包含的技术内容广泛，根据先进制造技术的功能和研究对象不同，可将先进制造技术归纳为以下五大类：先进制造流程技术、先进制造管理技术、先进制造物流技术、先进制造产业组织化技术和先进制造装备技术，其体系结构如图 13-1 所示。

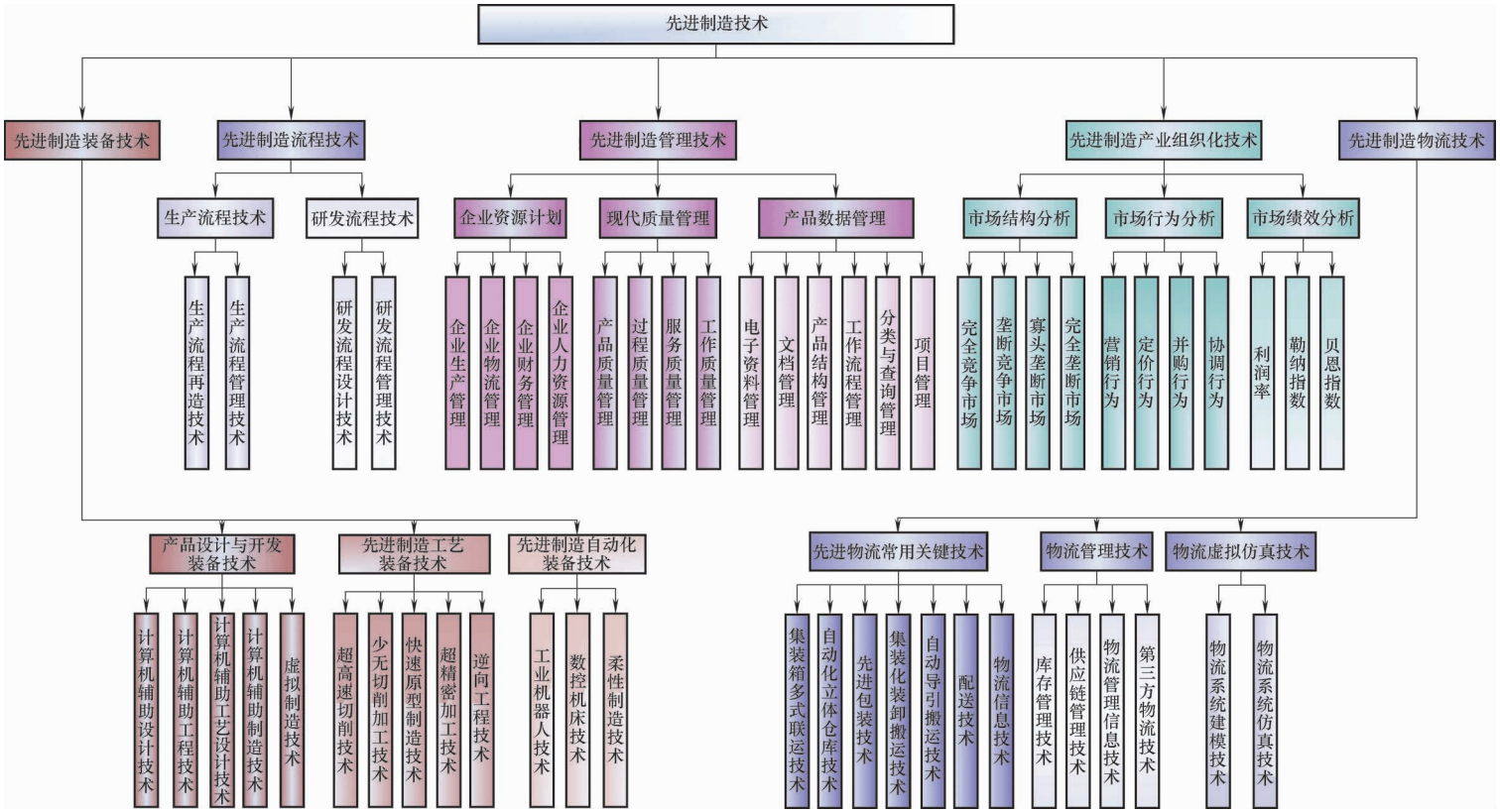


图 13-1　先进制造技术体系结构图

13.3 先进制造技术的发展及应用

机械制造技术是研究产品设计、生产、加工制造、销售使用、维修服务乃至回收再生的整个过程的工程学科，是以提高质量、效益、竞争力为目标，包含物质流、信息流和能量流的完整的系统工程。随着社会的发展，人们对产品的要求也发生了很大变化，品种要多样、更新要快捷、质量要稳定、使用要方便、价格要合理、外形要美观、自动化程度要高、售后服务要好，要满足人们越来越高的要求，就必须采用先进的机械制造技术。

目前，计算机辅助设计（CAD）技术得到了普及，提高了企业的设计水平和产品开发能力；快速原型制造技术由起步迈向成熟，应用初具规模；精密成形与加工技术水平大幅度提高，在汽车零部件、重大装备制造中获得广泛应用；激光加工在基础研究和技术开发方面取得实质性进展，产业应用获得了一定的经济效益；热加工工艺模拟优化技术取得重要进展，使材料热加工逐步由“技艺”走向“科学”；数控技术取得重要进展，国内市场占有率有所提高；现场总线智能仪表研究开发取得重要进展，应用已有一定基础；微型机械研究进展迅速，标志着先进制造技术正向微观领域扩展；现代集成制造系统研究和应用取得突破，在国际上占有一席之地；新生产模式的研究和实践具有特色，推动了我国制造业的技术进步和管理现代化。

在21世纪，随着电子、信息等高新技术的不断发展，随着市场需求的个性化与多样化，未来先进制造技术发展的总趋势是向精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化的方向发展。

农业机械的作业对象多样、具有生物活性，作业季节紧迫性要求极强，短时超负荷工作强度大，作业环境高热、高湿、高尘，作业场所地势等变化大，作业质量要求精准、精细、精量，服务对象是千家万户且知识水平参差不齐，属于先进制造领域中产品品种变化最多、作业目标多变、功能要求多样、动作机构繁杂的一类机器，属于生物技术、机械技术、信息技术、控制技术、制造技术等复杂系统融合的智能制造统一体。

第 14 章　先进制造技术发展现状与趋势

先进制造技术是现代技术和工业创新的集成和典范，是国家制造业水准的主要标志，是国家工业的基础和支柱。目前，世界各工业发达国家已充分认识到发展先进制造技术的重要性和紧迫感，纷纷对此进行广泛深入的研究，展开了激烈的竞争，各种创新成果和先进技术不断涌现。先进制造技术主要包括：企业资源计划（Enterprise Resource Planning，ERP）、计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、快速原型制造（Rapid Prototyping Manufacturing，RPM）和虚拟制造（Virtual Manufacturing，VM）等。

14.1　先进制造流程、管理技术

1. 企业资源计划

企业资源计划是 20 世纪 90 年代美国高德纳（Gartner Group）公司根据当时计算机信息、IT 技术发展及企业对供应链管理的需求，预测在今后信息时代企业管理信息系统的发展趋势和即将发生变革，而提出的概念。

（1）ERP 国外发展现状　工业时代的大生产给制造业带来了许多困难，主要问题就是要解决库存积压与短缺的矛盾。为解决这个关键问题，1957 年，美国生产与库存控制协会成立，开始进行生产与库存控制方面的研究与理论推广。库存控制订货点理论是一种库存补充方法，目的是保证仓库中的某一物料始终都有一定的存量，以便需要时随时使用。其基本方法是当库存量达到或低于预先确定的数量，即在订货点时，就要立即进行订货来补充。

随着 20 世纪 60 年代计算机的商业化应用，第一套物料需求计划（Material Requirements Planning，MRP）软件面世，在企业物料管理工作中应用。MRP 的基本思想就是物料的需求量是由生产（生产计划）确定的，同时还与产品结构有关。MRP 的工作原理就是根据主生产计划，利用输入的物料清单、工艺路线、库存信息等信息，产生分时间段的采购计划（即采购订单）和制造计划（即生

产订单）。20 世纪 80 年代，人们把制造、财务、销售、采购和工程技术等各个子系统集成为一体化的系统，称为制造资源计划（Manufacturing Resource Planning）系统，称作 MRPⅡ。ERP 在 MRPⅡ基础上进一步发展了企业信息管理系统，它是以企业的所有资源作为研究对象，把企业中的产、供、销、财、人等活动联成整体，形成一个闭环系统，使物流、信息流、资金流紧密相关，同时把客户需求和企业内部的经营活动，以及供应商的资源整合在一起，体现了完全按用户需求为中心的管理思想，是一种面向供应链和流程的信息集成。

在欧美等地区的发达国家，MRPⅡ/ERP 的应用已经比较普及，多数大中型企业已普遍采用 MRPⅡ/ERP 系统，如财富前 100 强中已有超过 70% 的企业开始了 ERP 的实施。目前正在推行全球化供应链管理技术和敏捷化企业后勤系统，国际上已把 ERP 作为数字时代企业生存的支柱。许多小型企业也在纷纷应用 MRPⅡ/ERP 系统。

（2）ERP 国内发展现状　我国于 20 世纪 80 年代初开始应用 MRP 系统，从第一批国外企业管理软件厂商进入我国带动企业管理软件在我国的发展，到国内软件厂商的转型及发展已经历了几十年的历程。在这个过程中，我国企业也在逐渐转变管理体制，进行制度创新，革新管理手段，为 ERP 的实施提供了客观条件，同时信息技术的高速发展也为 ERP 软件的应用提供了更为宽广的舞台。所以当前的形势是 ERP 浪潮汹涌而来，不少国外 ERP 软件不仅出现在我国市场上，许多我国软件公司也都把触角伸向了 ERP 领域。但是，综观整个我国市场，我国的企业信息化还处于成长阶段，我国的企业管理软件还不是很成熟，市场的潜力也非常大。在当前很多软件公司进军 ERP 领域的关口，结合当前管理思想的深化和管理方法的完善，明确 ERP 在我国的发展方向，从而推进我国企业信息化的发展，是非常必要也是非常重要的。许多企业在购买和应用 ERP 软件时，目标很明确，就是要提高生产效率，规范企业管理，取得更好的经济效益。但企业在实施 ERP 的过程中，却不尽如人意，出现了这样那样的问题。实施以后，软件的功能也没有发挥出来。软件本身与我国企业的管理思想还有部分没有结合起来是其中的一种原因。

（3）ERP 发展趋势　自从 1990 年高德纳公司率先提出了 ERP 的概念之后，ERP 得到了广泛的实践和理论研究。10 年后，该公司又提出了 ERP Ⅱ概念。由此可见，ERP 是一个不断发展的概念。ERP 的管理范围有继续扩大的趋势，继续扩充供需链管理（Supply Chain Management，SCM），继续融合企业本身的所

有经营业务、企业的办公业务、电子商务（Electronic Commerce，EC）、客户关系管理（Customer Relationship Management，CRM）、办公自动化（Office Automatically，OA）等。ERP系统还日益与计算机辅助设计（Computer Aided Design，CAD）、计算机辅助制造（Computer Aided Manufaced，CAM）、产品数据管理（Product Data Management，PDM）等系统融合，互相传递数据。

ERP的系统架构将更加先进。在设计上将具有数据无关性和技术无关性，确保客户能在任何地方、任何时间使用任何设备访问企业信息资源，处理商业事务等。在体系结构上是一个以客户为中心的，基于互联网应用的，由数据层、N层业务层、表示层组成的多层架构的平台型管理信息系统。具有跨操作系统平台和跨数据库平台的能力等。这样，就使得企业管理人员在办公室中完成的全部业务都纳入到了计算机系统管理范围中，实现了对企业的所有工作及相关内外部环境的全部管理。但企业的内外部环境是快速变化的，企业要适应这种快节奏的变化，就要不断地调整组织机构和业务流程。因此，ERP的发展必然要支持企业的这种变化，使企业的工作流程能够按照业务的要求进行组织，以便集中相关人员，用最少的环节、最快的速度和最经济的形式完成业务的处理过程。

ERP的发展离不开先进的计算机技术。Internet（互联网）和Intranet（内部网）技术使企业内部和企业之间的信息传递更加畅通。面向对象技术的发展使企业内部的重组变得更加快捷和容易。计算机技术的不断发展，为ERP的发展打下了坚实的物质基础。

2. 决策支持系统

自从20世纪70年代决策支持系统（Decision Support System，DSS）概念被提出以来，决策支持系统已经得到很大的发展。1980年Sprague提出了决策支持系统三部件结构（对话部件、数据部件、模型部件），明确了决策支持系统的基本组成，极大地推动了决策支持系统的发展。

（1）DSS发展概况　近10年来，DSS已有了广泛的社会需求，并不断推陈出新，其内涵日益丰富，产生了一系列新的概念、观点和结构。在大量的应用实践中，DSS的发展日新月异。为此，从以下几个方面对DSS的发展加以概括和论述。

1）智能决策支持系统（IDSS）。IDSS是DSS和人工智能（AI）相结合的产物。AI的研究内容很多，如专家系统（ES）、自然语言理解、人工神经网络、机器人等，其中最成功最实用的方面是ES，其他方面均没有实质性的突破。目

前的 IDSS 主要是由传统 DSS 与 ES 集成的。DSS 主要由人机交互系统、模型库系统、数据库系统组成，ES 则主要由知识库、推理机和动态数据库组成，称 IDSS 为高阶 DSS，传统 DSS 为初阶 DSS。IDSS 充分发挥了 ES 以知识推理形式解决定性分析问题的特点，又发挥了初阶 DSS 以模型计算为核心解决定量分析问题的特点，做到定性分析和定量分析的有机结合，使得解决问题的能力和范围得到了一个大的发展。

2）分布式决策支持系统（DDSS）。许多大规模管理决策活动已不可能或不便于用集中方式进行，决策过程必需的信息资源或某些重要的决策因素分散在较大的活动范围，是一类分布决策。DDSS 是为适应这类决策问题而建立的信息系统。DDSS 是由多个物理上分离的信息处理结点构成的计算机网络。网络的每个结点至少含有一个决策支持系统或具有若干辅助决策的功能。信息不集中是 DDSS 的主要特征。DDSS 不只是一套软件，任何实用的 DDSS 都包括有机结合起来的软硬件两部分。DDSS 一词在 20 世纪 20 年代初已提出，国内在分布数据库、分布知识库等方面也有不少研究文献，但对 DDSS 全面深入的研究才刚刚开始。

3）群体决策支持系统（GDSS）。DDSS 支持个人决策是很有成效的，但组织中的许多决策是由群体作出的，如对长远发展的重大决策，个人决策局限很大，需要多位各方面的专家来解决。让一群人在同一时间集中在同一地方有时是很困难的并且费用很高；另外，传统群体会议的时间可能较长，而决策效果却可能是平庸的，支持群体决策的 GDSS 随之得到发展。GDSS 将通信技术、计算机技术、决策技术结合起来，使问题的求解条理化、系统化，而各种技术的进步，如电子会议、局域网、远距离视频电话会议以及决策支持软件的研究成果，推动了这一领域的发展。20 世纪 80 年代末以来，GDSS 受到人们的高度重视，国外研制出了许多商品化的软件，在许多实际决策活动中发挥了重要作用。GDSS 与 DDSS 既有区别又有联系，前者是对个体 DSS 的扩展，后者则是相对于集中式 DSS 而言的，两者关注的焦点和研究的重点有所不同。如果说 DDSS 是以技术为导向的话，GDSS 则是面向群体活动的。GDSS 对群体决策的支持既可是集中式决策，又可是分布式决策。但通常情况下，群体决策是在分布环境下实施的，这就决定了 GDSS 与 DDSS 有着非同寻常的联系。

（2）DSS 国外应用现状　在国外，DSS 的研究越来越受到人们的重视，围绕 DSS 的活动十分活跃，新的学术团体、学术刊物不断涌现，学术会议不断举行。研制项目和应用都取得了可喜的进展，主要应用于企业的预算、分析、计划以及

财会、生产与销售等部门，也应用于社会科学、宏观经济等方面，涉及企业、军事、经济、环境、医学、能源、交通、公安等部门。下面介绍几个国外应用 DSS 的典型例子。

1）IFPS。由美国 Execucom 公司研制的 IFPS 是一个会话式财务计划系统，用来辅助经理进行计划与决策。它使用一种类似英语的对话式语言，能够回答“WHAT…IF…”之类的问题，可以很灵活地适应企业组织结构与管理方法的改变，能够根据不同的模型进行模拟、预测、风险分析、统计加工等。IFPS 已广泛应用于中高层管理决策，很受用户欢迎。

2）GADS。由 IBM 公司开发的地理数据分析和显示系统 GADS，是一种与地理划区有关的 DSS，如资源分配、设备配置以及中小学生就近入学规划等都是这类决策的例子。各种决策活动均在城市地图上进行，如确定各种可供选择的方案，进行方案评估等。现在，GADS 已发展成为 DSS 生成器，它具有对话、数据和模型三个主要组成部分，用于建立专用 DSS。例如美国加利福尼亚州圣何塞（San Jose）城的“巡警分配系统”和 IBM 公司办公产品部的“复印机维修系统”，均是用 GADS 生成的专用 DSS。

3）PAMS。PAMS 是由盖蒂石油（Getty-oil）公司研制的一个用于辅助投资的决策支持系统，它可用于复杂情况下的投资效益分析。

以上所举都是在国际上很流行的 DSS 应用软件。近几年来，随着 AI 技术的不断发展，IDSS 得到了很大发展。日本第五代计算机开发计划的方向之一就是 DSS 和 ES 的集成，系统的一个关键部分是知识库及其管理系统。欧洲的信息技术战略研究计划（ESPRIT）是个庞大的计划，是欧洲为了集中力量与美、日抗衡而建立的。这个项目包括现代微电子技术、现代信息处理技术、办公室系统、计算机一体化和软件技术五部分，细分为 28 个研究领域。美国的许多大学如亚利桑那、明尼苏达等大学设置了 GDSS 实验室，从事相关理论研究和 GDSS 软件开发并投入使用，获得了好的效果。大部分 DSS 生成器及软件开发环境供在校学生免费使用。许多硕士、博士论文都是与实际项目结合在一起的，一些大学生从二、三年级就开始参加实际项目，同时参加各种学术活动。

（3）DSS 国内应用现状　在我国，DSS 的研制和开发是在 1985 年前后开始的。从长远观点看，我国的 DSS 仍处于起步阶段。但由于政府重视，发展较快，在各个领域发挥了重要作用，显示出强大的生命力。我国的 863 计划把信息系统领域作为发展的重中之重。与 DSS 和 IDSS 直接相关的或影响到 DSS 和 IDSS 的

主题有 5 个。下面给出几个国内有影响的开发使用 DSS 的实例。

1）海运优化调度系统。1986 年由清华大学研制，用来帮助海运部门合理调动船只，使得在完成货运计划时总成本最低，并尽可能缩短货运时间。

2）智能型资源分配与货物调运系统。1986 年由华中理工大学自动化系研制，用来对铁路部门各种资源的分配和调运进行优化分析。

3）由黄小原等人 1993 年在辽宁省政府机关开发的省级决策支持系统。其实质是一个决策支持中心，为省级领导的工作提供咨询服务。在有关通货膨胀、辽宁省“八五”计划和十年规划、大中型企业问卷调查、提高粮油售价等重大社会经济问题上，为省委、省政府提供了决策支持环境和结果数据。

总的来看，DSS 的应用可分为两个方面。一方面是在战略规划上的应用：如大连理工大学系统工程研究所开发的山西整体发展研究 DSS、由中国科学院生态环境研究中心开发的县级综合发展 DSS、西安交通大学开发的大型水利工程（三峡工程）DSS 等。另一方面是在各行业经营管理上的应用：如中国热带农业科学院系统工程中心研究的海南芒果生产营销 ES、大连海事大学开发的港口装卸设备选型与更新 DSS、西北工业大学开发的军事指挥 DSS 等。目前国内的 DSS 正在向综合集成方向发展。在应用领域上，正在全方位展开。过去的几年中我国的区域规划和管理的 DSS 取得了很大成就，积累了比较丰富的经验，这个领域仍将十分活跃，并在国际上产生较大的影响。

（4）DSS 发展前景　DSS 技术本身在不断发展，各种计算机技术以及管理科学、行为科学、心理学等其他学科也在不断进步，它们相互交叉、相互影响和相互渗透，其结果必然带来 DSS 在某些重要方向的发展。DSS 的研究和开发将向深度和广度方向扩展。深度是指 DSS 本身，软硬件技术的飞速发展将对 DSS 产生深刻的影响。第五代智能机和人工神经网络的出现、超大规模集成电路技术（VLSI）的发展、多媒体技术的研究和应用、通信和网络技术的飞速进步都会大大提高支持效率。软件环境也会大大改善，模型管理体系的研究、人工智能技术的研究等都将是 DSS 软件的重要发展方向。这些变化预示着未来的 DSS 人机界面更为友好，效率更高，效果更好。广度是指开发应用的范围。战略 DSS、智能 DSS、群体 DSS、分布式 DSS、决策中心 DSS 将是今后的主攻方向，其应用将以广阔（向各行业、各领域辐射）、多层次（如宏观规划、微观指导、政策法规、项目管理）的形式全方位展开。

建立 DSS 的根本目的是模拟并辅助人的决策思维，提高决策的有效性。因

此，智能化是 DSS 发展的本质特征。我国在 IDSS 方面的开发和应用几乎是与 DSS 一同起步的，发展速度也较快。近年来由于我国管理信息系统（MIS）和办公自动化（OA）的普及，对 IDSS 的需求日益增长，带动了 IDSS 研究和应用的发展。在“七五”和“八五”规划以及国家高科技项目中，IDSS 均被列入计划并占有相当的比例。IDSS 也是我国 863 计划中智能计算机应用的一个重要研究分支。一支开发应用 DSS 和 IDSS 的队伍已逐步形成，研究方向也比较明确，特别是在有关国计民生的大型决策支持系统项目中，如我国人口与经济发展、区域经济规划、产业结构调整等大型信息系统建设项目，都包含 IDSS 的研究或以 IDSS 技术为主要支持手段。随着 AI 技术尤其是专家系统和知识库系统的发展，IDSS 必将得到进一步的发展和完善，从而提高管理决策的科学化和现代化水平。

3. 电子商务

电子商务最初出现在 1993 年美国克林顿政府工作报告对国家信息基础设施的描述中，含义就是利用电子信息技术、网络互联技术和现代通信技术，有效地把商品的资源管理和人们的交易行为结合起来，从而实现政府和企业之间、企业和企业之间、企业和顾客之间的信息交换、业务处理、商品和服务交易的计算机化、网络化活动。但是它不仅指基于互联网网上的交易，而且指所有利用电子信息技术来解决扩大宣传、降低成本、增加价值和创造商机的商务活动。

（1）电子商务国外发展现状

1）美国模式。美国电子商务起步于 20 世纪 80 年代，1996 年成立“电子商务工作组”，负责制定有关发展电子商务的政策措施，并协调督促相关部门实施；同年提出“新一代因互联网计划”，积极扶植新一代互联网及应用技术的开发，以此保持美国在互联网以及信息技术方面的优势；1997 年颁布促进、支持电子商务发展的“全球电子商务框架”。美国的电子商务是一种自下而上，以企业自律和市场驱动为主，政府采取自由放任主义发展的模式。目前，美国电子商务在全球范围内发展最为迅速，其应用领域和规模远远领先于其他国家，全球 90% 的电子商务网站在美国，50% 的电子商务交易额发生在美国。

2）日本模式。日本 1999 年成立“下一代国际互联网政策研究小组”，确定以发展电子商务为重点，通过电子商务推动日本制造业走出困境，带动经济振兴；2000 年推出“数字化行动纲领”，制定“IT 立国战略”，对信息网络革命进行战略部署，同年成立“IT 战略本部”；2001 年实施《IT 基本法》；2004 年正式提出 u－Japan 构想，将日本建成一个“任何时间、任何地点、任何物品、任

何人”都可以上网的环境。近年来，日本电子商务迅速发展，不仅成为企业间不可或缺的交易手段，也成为个人消费者获取所需商品或服务的最便捷途径。2006 年，日本狭义范畴内的 B2B 交易额约合 98 583 亿元人民币，同比增长约 5.3%。

3）新加坡模式。新加坡是东南亚第一个正式定义参与电子商务各方权利与责任的国家，也是世界上电子商务发展最迅速的国家之一。1998 年公布《电子交易法案》，成为开展电子商务值得信任的国家；同年底实施《全面电子商务法》，并投资 2 万亿美元推进全国性电子数据交换 EDI 服务，建成 EDI 贸易服务网络。新加坡的电子商务活动全部由政府投资和控制，企业在政府的全面扶持下自上而下发展电子商务，开展电子商务活动的商业机构每年可得到政府资助。

（2）电子商务国内发展现状

1）电子商务交易量增长迅速。2005 年我国网上购物用户达 2 200 万户，比 2004 年增长 38.6%，交易额高达 135.05 亿元。2007 年通过 B2B 电子商务完成的交易额达到 21 239 亿元，增长 65.9%，实现的运营商营业收入达 39 亿元，增长 49.1%。2008 年 6 月底，网上购物用户达到 6 329 万户，半年内增加 36.4%，全年我国电子商务类站点的总体用户覆盖从 9 000 万户提升至 9 800 万户，网络交易规模接近 2 700 亿元。根据我国电子商务研究中心发布的《2010 年（上）电子商务市场数据检测报告》显示，截至 2010 年 6 月份，国内个人网店的数量已经达到了 1 200 万家，且增长迅猛，2010 年年底网店数量将达到 1 300 万家，直接从业人员超过 130 万人，间接带动就业近 1 000 万人，市场交易额达到 2.25 万亿元，全年交易额超过 4.3 万亿元。

2）消费群体发展速度快。随着互联网的快速发展和普及化，以及中小企业应用电子商务进程的推进和国家对电子商务发展的重视，网络已经开始影响人们的生活观念，改变人们的消费模式。越来越多的消费者将会进行网上购物，据淘宝网检测数据，截至 2007 年年底，我国的网上购物人数超过 5 500 万，较 2002 年增长近 7 倍。每天有近 900 万人在淘宝网“逛街”，相当于近 600 个沃尔玛、家乐福的平均客流量。据中国互联网络信息中心（CNNIC）的报告，2009 年至少在网上买过 1 次东西的我国网民数历史性地突破了 1 亿人，达到 1.08 亿，增长 46%；而艾瑞的报告也近似于此，我国网上购物人数达到 1.1 亿。

3）电子商务涉及的行业不断扩展。电子商务不单在电子产品、服装、家庭生活用品等方面发展，而且在外贸、能源、制造、金融等行业方面也呈现出蓬勃

发展的势头。许多大型传统行业也纷纷涉足，建立起实业网站，我国的电信运营商、软件及系统集成商积极开展电子商务服务，移动商务成为电子商务发展的新领域。电子商务服务及网络公司自身正在向产业化方向发展，形成了初具规模的电子商务服务业，已经涌现出阿里巴巴、中国钢铁网、中国化工网等一大批网上采购市场。另外，我国政府机构也加入到“政府上网工程”行列，通过网络发布政府采购信息。

4）电子商务模式创新日益活跃。近几年来，随着互联网技术的高速发展，电子商务不仅仅局限于企业与企业的交易模式，更多的企业为了实现节约成本、减少流通环节从而直接打造面向消费者的交易平台，即 B2C 交易模式。此时，与之相对应的消费者与企业之间的电子商务 C2B 交易模式也随即应用起来，它是通过汇聚具有相似或相同需求的消费者，形成一个特殊群体，经过集体议价，以达到消费者购买数量越多，价格相对越低的目的。另外，还有消费者与消费者之间的电子商务 C2C 模式，企业、中间监管与消费者之间的电子商务 BMC 模式，企业与政府之间的电子商务模式 B2G。随着 3G 时代的来临，移动电子商务也逐渐发展起来，它利用手机终端移动化的特点，可以为用户提供随时随地的服务。

5）电子商务立法和安全标准滞后。电子商务是在开放的互联网环境下进行交易，采用电子支付方式，通过无纸化的电子票据进行结算，而现行的《票据法》并不承认经过数字签章的非纸质电子票据的支付和结算方式，电子商务必须要有一个安全的交易环境，必须要有一个统一的市场规则来支撑。然而，我国目前尚未正式颁布和实施电子商务法，在电子商务交易中产生的问题存在着原有法律条文没有涉及或者有涉及但不完全适用的情况，这就给电子商务的发展带来许多难以克服的障碍。

6）电子商务交易存在安全隐患。电子商务交易的安全问题仍然是影响电子商务发展的主要因素。首先表现在身份认证方面，由于非法用户可以伪造、假冒电子商务网站和用户的身份，因此登录到电子商务应用系统的客户无法知道他们所登录的网站是否是可信的电子商务网站，电子商务网站也无法验证登录到网站上的客户是否是经过认证的合法用户，非法用户可以借机进行破坏；其次是信息的完整性，敏感信息和交易数据在传输过程中有可能被恶意篡改；再次是信息的不可抵赖性，网上交易行为一旦被进行交易的一方所否认，另一方没有已签名的记录来作为仲裁的依据。这些安全隐患导致很多企业对实施电子商务有热情，但

缺乏激情。

7）电子商务交易存在信任危机。电子商务与传统商务方式一个非常重要的区别就是交易的当事人不见面，是在虚拟的网络空间完成的，也就是说根本不知道对方的资料，彼此的信任一般是通过感受和体验等比较初级的手段建立的，没有成熟的体制或适合的载体来支持真实信息的传递。消费者无法准确知道经营者的信用状况，经营者无法完全了解消费者的真实程度。尤其是一些商家并没有取得网络销售资格，在销售过程中以次充好、夸大宣传，骗取货款后消失，严重影响了消费者对电子商务的信任。

8）电子商务交易存在物流发展滞后问题。由于电子商务交易的双方不是面对面的，因此交易过程中的商品都涉及实物转移的问题，也就是物流过程。物流过程的快慢、服务的好坏直接影响到整个电子商务的发展。我国物流制度的不完善导致物流的发展跟不上电子商务的发展，出现了许多问题，如：物流公司制定霸王条款规定丢失物品只赔偿运费，经常出现消费者物品被掉包的情况；偏远地区物流不发达，导致消费者需要支付更多的运费等。物流发展的滞后成为制约电子商务发展的又一瓶颈。

（3）电子商务国内发展趋势

1）我国电子商务的发展环境将不断完善。

① 电子商务的基础设施将日益完善。随着社会经济的发展，互联网用户越来越多，互联网技术会越来越先进，三网合一（电信网、广播电视网和计算机通信网）逐渐实施，高速宽带互联网扮演的角色越来越重要，制约中国电子商务发展的“网络瓶颈”也得到初步缓解和解决，我国电子商务的发展将具备越来越好的网络平台和运行环境，加入电子商务的企业和潜在顾客会越来越多。②企业和网民的观念和行为将逐渐发生变化，对电子商务的认识和接受程度将不断提高。随着企业对电子商务认识的加深，自觉性会大大提高。网民随着认识的加深，也将更多地参与到电子商务的活动中。③我国电子商务的法律环境将会更完善。随着电子商务的高速发展，国家应该而且必须出台电子商务的相关基本法律、法规并实施，保证电子商务公正、公平的法律环境。随着电子商务的相关基本法律、法规的出台和实施，国内电子商务将得到有效的法律保障。电子商务的安全性将得到有力的提升。我国将结合国情，发挥国家在保障电子商务交易安全方面的主导作用，降低人们对目前电子商务安全性的担忧。④我国电子商务的物流配送体系逐步完善。目前严重制约电子商务发展的物流配送体系，将随着电子

商务的发展和需要不断完善。专业性的物流体系将不断完善，使得电子商务公司在物流配送体系上的选择空间更大，成本减少。⑤我国电子商务的安全性将得到显著提升。随着其他方面的不断改善和完善，安全性也随之得到有力提升，诚信的电子商务体系会慢慢形成。

2）我国电子商务向国际化发展。电子商务依托于互联网超越了时空的限制，打破地域间有形、无形的壁垒，刺激了国家和地区的对外贸易发展。随着世界经济的全球化，国际电子商务环境的规范和完善，我国电子商务企业必然会走向世界。这是提升我国企业国际竞争力的需要，也是适应经济全球化的必然，使得中小企业有了更多的机会将产品销售到全球各个国家和地区。电子商务的巨商们早就看中了我国的无限商机，日本软银集团总裁兼 CEO 孙正义曾表示，他看好 200 家中国网络公司，要投资 10 亿美元。

3）我国电子商务发展的竞争将加剧。随着我国电子商务的国际化，我国电子商务将面临严峻挑战。电子商务是国际化发展的必然趋势，国外领先的电子商务企业也将渗透到国内，我国的电子商务企业不仅在国内竞争，更要面向国外竞争。

4）我国电子商务的大众化趋势。网络已经从深宅大院走向平民，渐渐普及，网络逐渐成为人们生活的一部分，网上购物、网上订机票、网上政务已屡见不鲜，将会有越来越多的企业和消费者参与到电子商务的热潮中。因此，大众化是电子商务发展的必然趋势。

5）我国电子商务的兼并融合化趋势一是同类网站之间的兼并，目前我国大量的网站属于重复建设，在激烈的竞争下，只能是少数优秀企业胜出。二是网站之间的互补性兼并，那些在品牌、资源、客户等方面有很大优势，处于领先地位的电子商务企业，相对于国外企业而言，还是存在很大差距，这些基础良好和发展前景广阔的网站在发展的过程中，为应对强大对手，将会采取互补性模式的收购策略，结成战略联盟。

6）我国电子商务向专业化发展。首先，面向企业客户的专业化发展被看好。对 B2B 电子商务模式来说，发展以特定行业为依托的“专业电子商务平台”也是一种趋势。其次，面向个人消费者的能够提供一条龙服务的垂直型网站以及某一类产品和服务的专业网站的发展前景良好。目前以及今后若干年，我国电子商务的顾客仍将以中高收入水平的人群为主，他们受教育程度相对较高，生活的个性化需求更强烈。

7）我国电子商务的智能化趋势。首先是智能化数据分析功能。网络为人们提供了海量信息、便利的查询条件，同时带来的巨大信息量难以处理。因此，智能化数据分析功能可以为企业提供智能的信息分析，自动对大量数据信息进行分析，进行判断，对于异常状况给出说明，并对异常状况进行预测和分析，推断它对企业产生的影响，并给出应对措施的建议，协助人们有效地完成各项管理工作。其次是智能的优化功能。能够帮助企业基于多维约束条件和在多目标任务的情况下制订计划，这种优化的基础模型有多目标优化、随机优化、线性/非线性优化、动态优化等。例如收到一个订单后，完成该订单的目标值可能有多个：成本最低、利润最大、按时出货、库存周转最小等，企业则可以根据不同的实际情况来制订计划，达到满意的结果。市场是瞬息万变的，因此原有的平衡点处于不断地变化中，而企业的计划是依照各种平衡点来制订的，如果没有智能工具，企业实现有效管理和快速响应是困难重重的。

总之，21 世纪是信息化的时代，随着经济全球化和信息技术与信息产业的迅速发展，电子商务迅速崛起。我国电子商务前景良好，但我国电子商务还处在初始阶段，存在多方面的问题，可以说我国电子商务的发展是前途是光明的，道路是曲折的。相信通过多方的共同合作与努力，我国电子商务能更好更快地发展。

14.2 先进制造装备技术

1. 计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）

（1）CAD/CAM 发展历程　CAD 诞生于早期设计航天和武器的工作中。因为航天和武器级设计制造的高要求，为了更精确地实现设计意图并进行模拟，计算机专家发明了各种图形技术来描述三维图形空间，随着计算机图形学中曲面描述技术和参数化技术的发展，CAD 技术逐渐发展成型。20 世纪 80 年代末，计算机技术迅猛发展，硬件成本大幅度下降，CAD 平台的硬件平台成本从数百万、数十万美元降到只需几万美元。一个更加广阔的 CAD 市场被打开了，很多中小型企业也开始有能力使用 CAD 技术。由于他们设计的工作量并不大，工程也不复杂，加上他们无力投资价值数十万美元的大型高档软件，一些中低档的 Alias Studio、Pro/E 等 CAD/CAM 软件开始广泛使用。“旧时王谢堂前燕”的 CAD 技术逐渐“飞入寻常百姓家”，在建筑设计、工业产品设计等领域发挥了越来越重要的作用。虽然当时的一些民用 CAD 系统不但价格较高而且还必须依赖昂贵的

Unix 平台来运行，但是已经比原先只有少数公司用得起的巨型机节约了大量的经费和时间。后来随着 MACOS 平台特别是 Windows 平台等廉价的成熟稳定图形操作系统的发展，加上欧特克（Autodesk）等公司在 Windows 平台上不断发展进步自己的 CAD 软件，再加上 Alias、UG、CATIA 等公司不断地把自己一些原来 Unix 平台上的优秀 CAD 软件移植到 Windows 平台上，CAD 软件彻底平民化，很多小型公司甚至是个人也可以利用优秀的 CAD 软件来表现自己卓越的创意。

CAM 软件随着软硬件和精密加工设备的发展也发展迅速，设计师用 Pro/E、MasterCAM 等专业 CAD/CAM 软件设计好一个产品后，就可以直接导入加工设备进行模具加工，然后立即就可以上生产线生产出新产品。经过数年的发展，现在 CAM 软件已经比较成熟稳定，在不少设计项目特别是在一些大型设计项目中体现了巨大的优势。

（2）CAD/CAM 当前发展　当前 CAD 技术一直处于不断发展之中。应用 CAD 技术可以提高企业的设计效率，优化设计方案，减轻技术人员的劳动强度，缩短设计周期，加强设计的标准化等，越来越多的人认识到 CAD 技术对生产力有巨大的提升作用，因此不断加入到 CAD 用户的行列之中。当前 CAD 技术已经获得了非常广泛的应用，CAD 技术在企业的技术进步和产品创新过程中正发挥出越来越大的作用。由于客户需要的是全面的平面图、渲染图、动画和预算等，建造者需要的是完整的施工图样和精确的材料清单，所以现在 CAD 技术的发展也越来越全面，不少 CAD 软件集成了产品数据管理（PDM）能力，PDM 管理的是产品整个生命周期内的全部数据。工程技术人员根据市场需求设计的产品图样和编写的工艺文档仅仅是产品数据中的一部分。PDM 系统除了要管理上述数据外，还要对相关的市场需求、分析、设计与制造过程中的全部更改历程、用户使用说明及售后服务等数据进行统一有效的管理。以 ArchiCAD 为例，在 ArchiCAD 中墙不再仅仅是平行线，它们能包含有关其组成、材料、高度、价格以及和其他墙、楼层和天花板关系等的有价值的信息，所有这一切都能立即在透视图、立面图和材料清单中查到。ArchiCAD 能在一个文件里向客户和建造者提供大量的相关信息，并随时保持更新。它还拥有一个优秀的渲染模块，可以渲染出最终的效果。这样使用 ArchiCAD 的设计师就可以在设计冲突发生之前将其解决，可以节省设计师和客户大量的资金和工作量。再以 AutoCAD 为例，现在不但可以精确地表现出设计意图，很多厂商还以它为基础开发了很多辅助模块，利用这些模块在建设设计中不但可以统计出需要多少钢材和混凝土，甚至还可以计算出各个部

件的受力状况来调整设计，并且可以自动根据定额做出概算。这样就大大提高了工程的科学性和效率。在环境艺术设计中有模块可以计算出所需材料和用工的量，也可以根据定额自动计算出工程概算。

随着 CAD 软件的发展，在 CAD 系统中引入虚拟现实技术进行设计是当前 CAD 系统的发展趋势之一，可以为设计人员提供自然、逼真、多感知的设计环境，从而大大提高设计的效率和质量。在很多 CAD 软件中集成了渲染着色模块，设计师的创意设计通过渲染着色可在计算机上近乎完美地表现出来，在建筑没有搭建起来、环境艺术设计还没有开工的情况下，还可以利用虚拟现实技术让客户在设计作品中进行实时漫游。另外现在不少 CAD 项目特别是一些大型项目中需要多个设计师的协同分工设计，在这种市场要求下，不少 CAD 软件集成了协同设计功能。还以 ArchiCAD 为例，其项目组版本可以把一个大型项目的工程文件进行共享，然后对工作进行分解并让不同的设计师来设计。所有的设计师工作结束后，项目设计工作也就完成了，然后项目管理员可以根据工程文件来得出需要的各种数据。

CAD 和 CAM 技术的结合在当代工业设计制造中发挥了极大的作用。现在精密加工机床的精度已经很高，大部分的设计通过 CAM 软件可以轻松地表现出来。两个大型 CAD 和 CAM 结合生产的成功例子是空中客车公司设计生产全球最大的 A380 客机以及波音公司设计生产波音 787 梦想客机。这两家公司由于运用了先进的 CAD/CAM 软件，不但极大地提高了生产和设计效率，还在飞机生产阶段就让全世界的客户了解飞机的很多具体参数和性能，甚至飞机还没有生产出来，就已经建立起了对飞机各种操作的仿真训练系统。

（3）CAD/CAM 发展趋势　随着并行设计、协同设计、智能设计、虚拟设计、全生命周期设计等设计方法的发展，并随着人工智能、多媒体、虚拟现实、信息等技术的进一步发展，CAD 技术正朝着集成化、智能化、协同化的方向发展。

现在越来越多的 CAD 软件集成了越来越全面的 PDM 功能，CAD 软件生成的工程文件已经不是单纯的只有图样上的数据，它还包括了大量工程流程上需要的参数和数据，并可以自动计算出需要的相关数据，这样就把很多原来设计后端才开始的工作提前展现在设计师的眼前，从而大大减少了设计和施工冲突，目前开始流行的 ArchiCAD 对于这方面的探讨虽然只是刚刚起步，但是这反映了未来 CAD 发展的方向。现在可以展望，随着 PDM 和 CAD/CAM 的不断深入结合，在

一个优秀的流程中，不但设计冲突可以消灭在萌芽状态，设计师的艺术创造可以最终完美地表现出来，而且后端的工程建筑或产品制造部门也可以根据前端CAD软件数据的变化，自动动态地调整自己的工作，前端的设计产生变化，后端的CAM体系自动产生相应的变化，然后产品也跟着出现变化。

另一个重要趋势是随着CAD协同能力的提高，很多大的工程可以任意定制分割成很多小模块让不同能力、不同风格的设计师进行协同设计。同时随着互联网技术的发展，通过互联网进行更大规模的协同设计也会逐渐流行。

虚拟现实仿真技术的发展也很值得关注，随着计算机硬件和渲染技术的发展，现在通过CAD软件在计算机中漫游虚拟建筑或者操作设计中的虚拟设备已经越来越普遍了。随着虚拟现实技术的发展，脱离计算机的大型虚拟感应现实技术也逐渐浮出水面。

2. 计算机辅助工程（Computer Aided Engineering，CAE）

（1）CAE国外发展现状　计算机辅助工程的特点是以工程和科学问题为背景，建立计算模型并进行计算机仿真分析。一方面，CAE技术的应用使许多过去受条件限制无法分析的复杂问题，通过计算机数值模拟得到满意的解答；另一方面，计算机辅助分析使大量繁杂的工程分析问题简单化，使复杂的过程层次化，节省了大量的时间，避免了低水平重复的工作，使工程分析更快、更准确，在产品的设计、分析以及新产品的开发等方面发挥了重要作用。CAE这一新兴的数值模拟分析技术在国外得到了迅猛发展，技术的发展又推动了许多相关的基础学科和应用科学的进步。

在影响CAE技术发展的诸多因素中，人才、计算机硬件和分析软件是三个最主要的方面。现代计算机技术的飞速发展，已经为CAE技术奠定了良好的硬件基础。多年来，发达国家重视CAE技术人才的培养和分析软件的开发和推广应用，不仅在科技界而且在工程界已经具有了一支较强的掌握CAE技术的人才队伍，同时在分析软件的开发和应用方面也达到了较高水平。

美国于1998年成立了工程计算机模拟和仿真学会（Computer Modeling and Simulation in Engineering），其他国家也成立了类似的学术组织。各国都在投入大量的人力和物力，加快人才的培养。正是各行业中大批掌握CAE技术的科技队伍推动了CAE技术的研究和工业化应用，CAE技术在国外已经广泛应用于不同领域的科学研究，并普遍应用于实际工程问题，在解决许多复杂的工程分析方面发挥了重要作用。

国外 CAE 技术的高速发展和普遍应用是近年来的事。这一方面主要得益于计算机在高速化和小型化方面取得的成就，另一方面则有赖于通用分析软件的推出和完善。早期的 CAE 分析软件一般都是基于大型计算机和工作站开发的，近年来随着个人计算机性能的提高，使采用个人计算机进行分析成为可能，促使许多 CAE 软件被移植到个人计算机上应用，这显然对 CAE 技术的推广应用极为有利。

衡量 CAE 技术水平的重要标志之一是分析软件的开发和应用。目前，一些发达国家在这方面已达到了较高的水平，仅以有限元分析软件为例，国际上不少先进的大型通用有限元计算分析软件的开发已达到了较成熟的阶段并已商品化，如 ABAQUS、ANSYS、NASTRAN 等。这些软件具有良好的前后处理界面，静态和动态过程分析以及线性和非线性分析等多种强大的功能，都通过了各种不同行业的大量实际算例的反复验证，其解决复杂问题的能力和效率，已得到学术界和工程界的认可，在北美、欧洲和亚洲一些国家的机械、化工、土木、水利、材料、航空、船舶、冶金、汽车、电气工业设计等许多领域中得到了广泛的应用。

就 CAE 技术的工业化应用而言，西方发达国家目前已经达到了实用化阶段。通过 CAE 与 CAD、CAM 等技术的结合，使企业能对现代市场产品的多样性、复杂性、经济性等作出迅速反应，增强了企业的市场竞争能力。在许多行业中，计算机辅助分析已经作为产品设计与制造流程中一种强制性的工艺规范加以实施。以国外某汽车公司为例，绝大多数的汽车零部件设计都必须经过多方面的计算机仿真分析，否则根本通不过设计审查，更谈不上试制和投入生产。计算机数值模拟现在已不仅仅作为科学研究的一种手段，在生产实践中也已作为必备工具普遍应用。

（2）CAE 国内发展现状　随着我国科学技术现代化水平的提高，计算机辅助工程技术也在我国蓬勃发展起来。科技界和政府的主管部门已经认识到计算机辅助工程技术对提高我国科技水平，增强我国企业的市场竞争能力乃至整个国家的经济建设都具有重要意义。近年来，我国的 CAE 技术研究开发和推广应用在许多行业和领域已取得了一定的成绩。但从总体来看，研究和应用的水平还不能说很高，某些方面与发达国家相比仍存在不小的差距。从行业和地区分布方面来看，发展还很不平衡。

目前，ABAQUS、ANSYS、NASTRAN 等大型通用有限元分析软件已经引进我国，并在机械、航空、汽车、材料等许多行业得到了应用，而且在某些领域的

应用水平并不低。我国已经有一批科技人员在从事 CAE 技术的研究和应用，取得了不少研究成果和应用经验，使我国在 CAE 技术方面紧跟现代科学技术的发展。但是，这些研究和应用的领域以及分布的行业和地区还很有限，现在还主要局限于少数具有较强经济实力的大型企业、部分大学和研究机构。

我国的计算机分析软件开发是一个薄弱环节，严重地制约了 CAE 技术的发展。在 CAE 分析软件开发方面，我国目前至少落后于美国等发达国家十年。计算机软件是高技术和高附加值的商品，目前的国际市场为美国等发达国家所垄断。仅以有限元计算分析软件为例，目前的世界年市场份额达 5 亿美元，并且以每年 15% 的速度递增。相比之下，我国的软件工业还非常弱小，仅占有很少量的市场份额。我们必须加大力度开发自己的计算机分析软件，只有这样才能改变在技术上和经济上受制于人的局面。

我国的工业界在 CAE 技术的应用方面与发达国家相比水平还比较低。大多数企业对 CAE 技术还处于初步的认同阶段，CAE 技术的工业化应用还有相当的难度。这是因为，一方面我们缺少自己开发的具有自主知识产权的计算机分析软件，另一方面大量缺乏掌握 CAE 技术的科技人员。对于计算机分析软件问题，目前虽然可以通过技术引进解决燃眉之急，但是，国外这类分析软件的价格一般都相当高，国内不可能有很多企业购买这类软件来使用。而人才的培养则需要一个长期的过程，这是我国 CAE 技术推广应用的一个重要制约因素，而且很难在短期内有明显的改观。提高我国工业企业的科学技术水平，将 CAE 技术广泛应用于设计与制造过程还是一项相当艰巨的工作。

（3）CAE 发展趋势　在信息化和网络化的时代，随着计算机技术、CAE 软件和网络技术的进步，计算机辅助工程将得到极大的发展。硬件方面，计算机将在高速化、小型化和大容量方面取得更大进步。可以预见，不久的将来个人计算机将在运行速度和存储容量方面得到大幅度的提高，使许多 CAE 分析软件都能在个人计算机上运行。这将为 CAE 技术的普及创造更好的硬件基础，促进 CAE 技术的工业化应用。软件方面，现有的计算机仿真分析软件将得到进一步的完善，大型通用分析软件的功能将越来越强大，界面也将越来越友好，涵盖的工程领域将越来越普遍。同时，适用于某些专门用途的专用分析软件也将受到重视并被逐步开发完善起来。各行各业都将会具有适于各自领域的计算机仿真分析软件。

网络化时代的到来也将给 CAE 技术的发展带来不可估量的促进作用。现在

许多大的软件公司已经采用互联网对用户在其分析过程中遇到的困难提供技术支持。随着互联网技术的不断发展和普及，通过网络信息传递，不仅对于某些技术难题，甚至对于全面的 CAE 分析过程都将有可能得到专家的技术支持，这必将在 CAE 技术的推广应用方面发挥极为重要的作用。

我国的产品已不再可能依靠政府来保护自己的市场，必须与国际接轨，面对国际市场。工业界必须对市场需求作出迅速反应，缩短工程设计周期，优化产品和节省造价，保证产品质量，才能赢得市场。为此，在产品的设计制造过程中应用 CAD、CAE 和 CAM 等技术是最好的选择，这已经成为国际上科技界和工业界的共识。过去长期沿用的那些静态的、孤立的、繁杂的、不准确的、甚至有时只能凭经验进行的设计和分析方法必将处于被淘汰的地位。我国的工业界要想在激烈的国际市场竞争中占有一席之地，就必须跟上现代科学技术的发展，从现在起就应该对 CAE 技术予以足够的重视。

作为世界上发展速度最快的一个发展中国家，CAE 技术水平的提高将对增强我国工业界的市场竞争能力，发展国民经济发挥重要作用。因此，我们必须加大对 CAE 技术的投入，加快开发自己的计算机分析软件，培养一批掌握 CAE 技术的人才。针对我国工业界，特别是中小企业的 CAE 技术还较为落后，缺乏专门人才的实际情况，如何利用飞速发展的互联网技术将我们的人才和技术资源充分发挥出来为企业服务，是 CAE 技术发展中值得重视的一个问题。我国科技界、教育界和工业界应该携起手来为 CAE 技术的研究开发、人才培养和工业化应用共同努力。

3. 快速原型制造（Rapid Prototyping Manufacturing，RPM）

20 世纪 80 年代末，该技术在美国首先应用并商品化。RPM 技术以离散堆积原理为基础和特征，首先将零件的三维几何模型离散化，成为“层状”离散面、离散线和点，而后采用多种手段将这些离散的点、线和面按层堆积成零件的整体形状，属于典型的结合加工模式。

（1）RPM 国内发展现状　我国的 RPM 研究起步略晚于美国，目前国内清华大学、西安交通大学等高校以及广州中望、北京隆源等高科技企业在 RPM 技术的研究与应用方面取得了不错的成果。随着 RPM 技术的不断发展，目前主要形成了六种快速原型制造工艺，分别是：立体光刻（SLA）、分层实体制造（LOM）、选择性激光烧结（SLS）、熔融沉积（FDM）、热塑性材料选择性喷涂（INK-JET）和三维印刷技术（3DP）。

我国第一台快速成形机 M220 多功能试验平台于 1993 年诞生于清华大学，与美国商品化 SLA 工艺同时起步。以后相继有不少高校和企业从事这项研究，开发了一些成形设备，取得了众多成果。清华大学在分层实体制造（SSM）工艺和熔融沉积制造（MEM）工艺的理论研究和设备产品化方面已达到或接近世界先进水平。如 SSM 工艺中的专利技术跟随式排烟机构，能很好地解决切纸烟尘污染问题，又如 MEM 工艺中采用的挤出喷头，远比国外同类产品小巧轻便，已成专利产品。还有设备上所用软件均为独立开发，处理速度快，运行可靠。清华大学在推出了世界上最大的双激光系统快速成形设备（成形空间可达 600mm × 800mm × 750mm）后，又与长春一汽集团合作开发汽车大型模具的快速制造技术。华中理工大学开发生产了 HRP 和 HRPS 系列成形设备，并在成形材料、软件开发和快速制造模具方面开展了许多研究工作，其中用于快速成形叠层（LOM）法的涂覆纸和胶达到了较高水平。当然我们与国外快速原型制造先进水平相比还有一定的差距，仍需迎头赶上，减少低水平重复。

（2）RPM 发展趋势　现代 RPM 技术发展的一个重要特点就是快速自动成形与其他先进的设计制造技术的结合越来越紧密。完善制造工艺、系统与 CAD 等软件的接口，制定统一的数据交换标准，进一步提高成形速度和精度，降低系统价格和运行成本，开发出满足工程要求的材料和扩大应用领域等都是人们关注的焦点。

1）概念创新与工艺改进。经过十多年的研究与发展，已有十几种较为成熟的技术，它们的原理都是分层叠加法，在系统软件和硬件上有很多是相同和相近的。一些改进的工艺和设备能够具备多种制造方法的特点和功能，例如 FDM 和 LOM 的复合。

精度的提高是改进工艺必须考虑的。RPM 技术的成形精度一般为 0.01mm 的数量级，有待进一步提高。另一方面，与传统制造工艺相结合，形成快速产品开发-制造系统也是一个重要趋势。目前，国内外均在大力开发这一领域，清华大学正在研究 RPM 用于无木模铸型制造的技术。

2）寻求适合集成制造的新材料。目前，许多制造商在积极开发适合快速原型制造的专用材料。例如，应用于汽车模具时，材料的力学性能和物理性能要满足使用要求。DTM 公司开发了涂覆树脂的钢球材料用于生产注射模，以及覆膜锆砂（Sand From Zr）用于直接制作铸型（芯）。相比之下，国内的材料研究发展较慢。目前 SLA 成形设备所用的光固化树脂全靠进口，价格昂贵，LOM 实用

的材料也远不如国外。

总的说来，用于快速模具制造和功能零件的材料还不成熟，在强度、精度、性能和寿命方面还达不到使用要求。所以，以材料科学、有机化学等为基础，研究开发性能相当甚至超过金属材料的复合材料、陶瓷材料，与医学、生物学结合，开发具有活性的生物材料，用快速原型技术制造人体内脏器官或四肢以辅助医疗诊断和外科手术等都已经成为 RPM 的发展方向。

3）开发强大的数据采集、处理和监控软件。绝大多数 RPM 系统所使用的分层切片算法都是基于 STL（Stereoligraphy）文化进行的 STL 文件，存在着不少缺陷和不足。如：三角形网格之间的空隙将导致分层切片的轮廓不连续；有时 STL 文件太大，无法全部读入内存而造成不能切片等。针对 STL 文件的一系列弊端，已经出现了一些修改和转换处理软件，如 SolidView、MagicsView、STLView 等。这些软件采用适应性切片、将 STL 文件大化小等措施，避免前面提到的缺陷。目前的切片方式都是平面式的，今后还可发展曲面切片、不等厚分层等方法，从曲面模型直接截面、分层，采用更精确、简洁的数学描述，以提高造型精度。

4）拓展新的应用领域。在 RPM 技术主要用于快速模具（RT）的同时，国外正大力将快速原型制造技术应用于医学、医疗领域，利用计算机辅助断层扫描（CT）、核磁共振（MRI）、三维 B 超等，对人体局部扫描获得的截面图像，用计算机对器官进行三维重建，然后利用快速原型制造系统建造实体器官模型。国内西北轻工业学院正积极探索古陶瓷快速原型复仿制的可能性。

5）RPM 技术的智能化、集成化和网络化。目前 RPM 系统加工参数的设定，还主要依据人的知识和经验，对 RPM 技术的掌握还需要较多的培训和指导，这就使得经验因素在 RPM 技术中占有重要地位（这也是国内各大研究机构相互间协作不够的原因之一），智能化必然是一个方向。一个快速原型系统一般应包括四个子系统：三维 CAD 建模系统、数据反求系统、快速成形与制造系统和数控加工系统，国外的来图加工中心都具有这四个子系统。另一种模式是将并行设计技术、虚拟制造技术、快速原型制造技术和现代检测与分析技术集成在一起，形成更高层次的产品快速设计与制造集成系统。

通过信息高速公路形成快速原型制造信息网络，使得没有完善的产品开发能力的公司可以直接从网络上得到产品的 CAD 模型，利用自己的快速原型制造技术和设备迅速制造出原型，或者没有 RPM 设备的公司可以通过网络将自己的设计结果传到其他公司或快速原型制造服务中心制造原型，从而实现远程制造。同

时，快速原型制造技术为科学计算可视化、虚拟现实以及三维 FAX 等新兴技术提供了可量度、可触摸的手段，基于快速原型制造技术的桌面办公制造系统（Desktop System）将会实现。

4. 逆向工程（Reverse Engineering，RE）

（1）RE 数据测量技术发展现状　数据测量是通过特定的测量设备和测量方法获取产品表面离散点的几何坐标数据，将产品的几何形状数字化。其测量原理是：将被测产品放置于三坐标测量机的测量空间内，获得被测产品上各个测量点的坐标位置，根据这些点的空间坐标值，经过计算机数据处理，拟合形成测量元素，如圆、球、圆柱、圆锥、曲面等，通过数学计算的方法得出其形状、公差及其他几何量数据。高效、高精度地获取产品的数字化信息是实现逆向工程的基础和关键。现有的数据采集方法主要分为两大类。

1）接触式数据采集方法。接触式数据采集方法包括基于力的击发原理的触发式数据采集和连续式扫描数据采集如磁场法、超声波法。接触式数据采集通常使用三坐标测量机，测量时可根据实物的特征和测量的要求选择探头及其方向，确定测量点数及其分布，然后确定测量的路径，有时还要进行碰撞的检查。触发式数据采集方法采用触发探头，触发探头又称为开关测头，当探头的探针接触到产品的表面时，探针受力变形触发采样开关，通过数据采集系统记下探针的当前坐标值，逐点移动探针就可以获得产品表面轮廓的坐标数据。常用的接触式触发探头主要包括：机械式触发探头、应变片式触发探头、压电陶瓷触发探头。触发探头的优点在于：适用于空间箱体类工件及已知产品表面的测量；通用性较强，适用于尺寸测量和在线应用；体积小，易于在狭小的空间内应用；由于测量数据点时测量机处于匀速直线低速状态，测量机的动态性能对测量精度的影响较小。但由于测头的限制，不能测量到零件的一些细节之处，不能测量一些易碎、易变形的零件。另外，接触式测量的探头与零件表面接触，测量速度慢，测量后还要进行探头补偿，数据量小，不能完全真实地反映实体的形状。

2）非接触式数据采集方法。非接触式数据采集方法主要运用光学原理进行数据的采集，主要包括：激光三角形法、激光测距法、结构光法以及图像分析法等。非接触式数据采集速度快、精度高，排除了由测量摩擦力和接触压力造成的测量误差，避免了接触式探头与被测表面由于曲率干涉产生的伪劣点问题，获得的密集点云信息量大、精度高，探头产生的光斑也可以很小，可以探测到一般机械探头难以测量的部位，最大限度地反映被测表面的真实形状。非接触式数据采

集方法采用非接触式探头，由于没有力的作用，适用于测量柔软物体。非接触式探头取样率较高，为 50 ~ 23 000 次/s，适用于表面形状复杂、精度要求不特别高的未知曲面的测量，如汽车、家电的木模、泥模等。但是非接触式探头由于受物体表面特征（颜色、光度、表面粗糙度、形状等）的影响较大，目前在多数情况下其测量误差比接触式探头要大，在 10μm 级以上。该方法主要用于易变形零件、精度要求不高的零件、要求海量数据的零件、不考虑测量成本及其相关软硬件配套情况下的测量。

综上所述，在只测量尺寸、位置要素的情况下尽量采用接触式测量；考虑测量成本且能满足要求的情况下，尽量采用接触式测量；对产品的轮廓及尺寸精度要求较高的情况下采用非接触式扫描测量；离散点的测量采用扫描式；易变形、精度要求不高的产品和要求获得大量测量数据的零件采用非接式测量方法。

（2）RE 测量设备发展概况　三坐标测量机是最早用于现代三维测量技术的机器，是由英国费伦梯（Ferranti）公司于 20 世纪 50 年代研制的。德国蔡司（Zeiss）公司于 1973 年推出了 UMM500 三坐标测量机。目前，国际上较有影响的三坐标测量机制造厂商主要有意大利 DEA 公司、美国格朗夏普（Brown-Sharpe）公司、英国 ZK 公司以及德国蔡司公司。海克斯康测量技术（青岛）有限公司是瑞典高科技制造业集团海克斯康（Hexagon）集团计量产业的核心成员和九大测量机制造基地之一，已成为国内有影响力的数控三坐标测量机专业制造厂商。

三次元坐标测量床过去一般以接触式探针为主，用于模具检测、产品外形验证、测量工件外形特征变化和几何形状等。随着逆向工程的快速发展，大量曲面的产品零件应运而生，接触式探针为主的三次元坐标测量床已不能满足要求，接触式探头与非接触式探头的结合已成为必然的发展趋势。在探头的研制方面，英国雷尼绍（Renishaw）公司的探头最有代表性，该公司的探头被大多数三坐标生产商所采用。国内也在三维测量设备方面展开了较深入的研究，主要集中在西安交通大学、华中科技大学等高等院校。

（3）RE 软件发展概况　目前，较知名的专业逆向工程软件有 EDS 公司的 Imageware，Raindrop Geomagic 公司的 Geomagic，DEL-CAM 公司的 Copy-cad，INUS 公司的 Rapidform。较知名的 CAD 逆向模块有 Pro/E 的 Scan2Tool 模块，PTC 公司的 ICEMSurf，CATIA 公司的 DSE、QSR 模块以及 Paraform 公司的 Paraform 等。

国内在逆向工程软件方面的研究，主要集中在高校，如清华大学、浙江大学、南京航空航天大学。软件产品主要有高华 CAD、CAXA 系列、GS-CAD98、金银花系统、开目 CAD、Re-soft 和 Quick Form 等，其中，QuickForm 是国内开发得较好的逆向工程软件。

（4）RE 应用领域　逆向工程可以迅速、精确、方便地获得实物的三维数据及模型，为产品提供先进的开发、设计及制造的技术支撑。据统计，国外 70% 以上的技术来自于反求。逆向工程已成为联系新产品开发过程中各种先进技术的纽带，并成为消化和吸收先进技术、实现试验性结构向新产品快速开发的重要技术手段。以下是其在各领域的应用。

1）在缺少图样及没有 CAD 模型的情况下，通过对零件原型的测绘形成图样或模型，并由此生成数控加工的 NC 代码，加工复制出与其相同的零件。

2）在对产品外观有较高美学要求的领域，如汽车、家电等民用产品以及工艺品的外形设计，设计师往往使用油泥、黏土或木头等材料先制作模型，这时根据所提供的模型运用反求工程的技术，可以快速准确地建立三维立体模型。

3）当设计需要经过反复试制、修改或者需要通过试验测试才能定型的零部件时，如在航空航天领域、在模具制造业以及对于农业机械土壤作业部件等，反求工程可缩短过程，能够把试验得到的最佳结构快速变为产品。

4）应用于修复破损或缺乏供应的被损零件、艺术品等，如修复破损的雕像、雕刻及艺术造型等。此时并不需要对整个零件原型进行复制，而是借助反求工程技术获取零件原型的设计思想来指导新的设计。这对于机械设备大型易损零部件的修复等很重要，是由实物反求推理出设计思想的一种渐近过程。

5）对于国外的产品，要对其不适合国内使用处进行修改时，可以通过逆向工程建立三维模型进一步改进。

6）逆向工程技术与医学、人体相适应的特殊服装、影视三维造型等的结合日益紧密。逆向工程技术在骨缺损的修复、人工关节、人工骨、整形复体、人工器官等医学假体设计中具有极其重要的作用。通过逆向造型，可以为患者提供更为准确的个性化设计替代物模型，使得缺损部位与替代物能更好地匹配，提高缺损修复的成功率。

随着先进制造技术、计算机技术的不断进步，逆向工程技术也得到相应的发展，包括其关键技术如三维测量、数据处理以及快速制造技术等，相信将来逆向工程技术会和产品制造等技术结合得越来越紧密，并在更多的领域发挥其显著的

作用。

5. 虚拟制造（Virtual Manufacturing，VM）

（1）VM 的主要应用领域　利用虚拟制造系统可以进行两方面的仿真：

1）产品全生命周期仿真。在设计阶段，通过性能和装配过程仿真，评价产品的实用性、宜人性和可装配性；在制造阶段进行可制造性分析及工艺过程可行性分析；在使用阶段进行用户培训和维修性分析与评价。

2）企业行为仿真。在真实制造过程发生之前，对生产的组织过程进行仿真，评价虚拟企业内各个伙伴的可合作性。

虚拟制造根据其特定的应用环境和对象、根据应用的不同要求，出现了三个流派，即以设计为中心的虚拟制造、以生产为中心的虚拟制造、以控制为中心的虚拟制造。目前，机械工业的汽车制造中的虚拟制造主要以设计为中心的虚拟制造为主，通过增加制造信息到集成产品开发过程中并在计算机中仿真多种制造方案，为设计者提供一个设计产品和评估产品可制造性的环境。

虚拟制造技术最先在军事、航空航天、汽车领域获得了成功应用。德国汽车业应用虚拟制造技术最快也最广泛。目前，德国所有的汽车制造企业都建成了自己的虚拟现实开发中心。奔驰、宝马、大众等大公司的报告显示，应用虚拟制造技术、以“数字汽车”模型来代替木制或铁皮制的汽车模型，设计发动机、车体、电气线路等，建立了三维实体模型，并进行了碰撞分析和运动分析等，还进行了模拟数控加工和质量检查等，大大缩短了设计周期，降低了设计成本，可将新车型开发的时间从 1 年以上缩短到 2 个月左右，开发成本最多可降低到原先的 1/10。

（2）VM 国外发展现状　虚拟制造技术已在国外得到了广泛应用，目前最有效果的在以下几个方面：

1）产品的外形设计。例如，传统农机、汽车外形造型设计多采用塑料制作外形模型，要通过多次评测和修改，费工费时。采用虚拟技术的外形设计，可随时修改、评测，方案确定后的建模数据可直接用于冲压模具设计、仿真和加工，甚至用于广告和宣传。在其他产品，如飞机、建筑和装修、家用电器、化妆品包装等的外形设计中同样有极大的优势。

2）布局设计。在复杂产品/系统的布局设计中，通过虚拟技术可以直观地进行设计，避免可能出现的干涉和其他不合理问题。例如，工厂和车间设计中的机器布置、管道铺设以及物流系统等都需要该技术的支持。在复杂的管道系统设

计中采用虚拟技术，设计者可以“进入其中”进行管道布置，并检查可能的干涉等问题。

3）产品的运动学和动力学仿真。在产品设计阶段就能展示出产品的行为，动态表现产品的性能，产品设计必须解决运动构件工作时的运动协调关系、运动范围设计、可能的运动干涉检查、产品动力学性能、强度、刚度等。例如，生产线上各个环节的动作协调和配合是比较复杂的，采用仿真技术，可以直观地进行配置和设计，保证工作的协调。

4）加工工艺仿真。针对金属材料热成形过程的技术难点（高温、动态、瞬时、难以控制质量），从材料成形理论分析入手，通过对材料成形过程进行动态仿真，使得基础理论能直接定量地指导金属材料热成形过程，并预测不同条件下成形后材料的组织、性能及质量，进而实现热成形件质量与性能的优化设计，最大限度地发挥材料的性能潜力。

5）加工过程仿真。产品设计的合理性、可加工性、加工方法、机床和工艺参数的选用、NC 代码检验以及加工过程中可能出现的加工缺陷等，这些问题需要经过仿真、分析与处理。

6）产品装配仿真。机械产品的配合性和可装配性是设计人员常易出现错误的地方，往往要到产品最后装配时才能发现，导致零件的报废和工期的延误，造成巨大的经济损失和信誉损失。采用虚拟装配技术可以在设计阶段就进行验证，确保设计的正确性，避免损失。

7）虚拟样机与产品工作性能评测。进行产品的三维建模，然后将这个模型置于虚拟环境中控制、仿真和分析，可以在设计阶段就对设计的方案、结构等进行仿真，解决大多数问题，提高一次试验成功率。采用虚拟现实技术，还可以方便、直观地进行工作性能检查。

8）产品虚拟展示。用虚拟现实或三维动画技术制作的产品广告具有逼真的效果，不仅可显示产品的外形，还可显示产品的内部结构、装配和维修过程、使用方法、工作过程、工作性能等，尤其是利用网络进行的产品介绍生动、直观，广告效果很好。网上漫游技术使人们能在城市、工厂、车间、机器内部乃至图样和零部件之间进行漫游，直观方便地获取信息。

9）企业生产过程仿真与优化。用于产品生产工艺的制定，工厂人力资源、制造资源的合理配置，物料储运系统（传送带、机器人、运输车、仓库）的安排等。特别是，基于仿真的生成计划与作业调度日益得到企业重视，可大大缩短

生产周期，降低生产成本。

10）虚拟企业的协同仿真与优化。虚拟制造系统可以为虚拟企业合作伙伴提供协同仿真与优化环境。虚拟制造系统可以将异地的、各具优势的研究开发力量，通过网络和视像系统联系起来，进行异地开发，网上讨论。用户订货、产品创意、设计、零部件生产、总成装配、销售以及售后服务这一全过程中各个环节都可以进行协同仿真，为虚拟企业动态组合提供支持。

（3）VM 国内发展现状　VM 技术 20 世纪末传入我国，现已在各个方面有了飞速的发展，具体表现在以下几个方面：

1）对 VM 技术的认识进一步全面和深入。虽然 VM 技术在我国的发展仅仅十余年的时间，但人们的认识却在逐渐深入，对 VM 的研究内容及关键技术也有了深刻的理解。VM 作为一种新的制造技术，正在逐渐被人们广泛接受。目前，根据各种相关技术在 VM 中的地位，可以把 VM 相关技术划分成三个级别：核心技术级、基本技术级和一般技术级。核心技术是 VM 技术的基础和关键，它决定了 VM 能够实现什么和做什么；基本技术是 VM 技术的条件和保障，它决定了 VM 如何去建立和实现；而一般技术则是广泛使用的技术，是对 VM 技术的辅助和补充，在其他领域可能是必需的，但对 VM 来说其仅仅是重要的。

2）VM 技术研究机构大幅度增多。近几年，我国 VM 技术受到普遍的重视，发展很快。据不完全统计，国内进行 VM 技术研究的单位已达到了 100 多家，并且在相关的研究领域已经取得了可喜的进展。如清华大学进行的虚拟设计环境软件、虚拟现实、虚拟机床和虚拟汽车训练系统等方面的研究，浙江大学进行的分布式虚拟现实技术、VR 工作台和虚拟产品装配等的研究，西安交通大学和北京航空航天大学进行的远程智能协同设计研究，天津大学、北京机床研究所、大连机床集团进行的机床虚拟设计和轴机床的研究等都取得了很大的突破和发展。西北工业大学、哈尔滨工业大学、北京机电研究所、上海交通大学、南京理工大学等单位也都对这方面的研究投入了相当的关注。中国农业大学针对农业机械开展了全方位研究，部分已经在农机制造骨干企业开始应用。国家 863/CIMS 主题组也将“制造系统的可视化、虚拟建模与仿真”确定为研究重点，国家自然科学基金也设有专门的研究课题。

3）VM 技术与其他先进制造技术进一步融合。VM 是多学科、多领域知识的综合，其产生的虚拟产品、VM 系统以及虚拟企业，都需要在计算机上以仿真的方式呈现出来，因此 VM 技术已成为现代制造技术重要的组成部分，同其他先进

制造技术的联系也在进一步加强。精益生产、并行工程、敏捷制造、绿色制造是在现阶段提出的新的制造方法和概念，它们都离不开信息技术、计算机网络、工程数据库技术和计算机仿真技术的支持，这些都以 VM 技术作为基础和依托，这些技术之间既相互影响、相互关联，又彼此交叉，进一步加强了相互之间的融合和发展，更加符合人类社会的需要。

4）VM 技术的研究和应用进一步广泛。VM 技术的涉及面也正在越来越广，从环境构成技术、过程特征抽取、元模型、集成基础的体系结构、制造特征数据集成到多学科交叉功能、决策支持工具、接口技术、虚拟现实技术、建模与仿真技术等，相关各方面都有了很大的进展。目前，国内的研究主要集中在 VM 基础研究、产品虚拟设计技术、产品虚拟加工技术和 VM 系统四个方面。

总体上，我国的 VM 技术在产品的外形设计、产品的布局设计、产品的运动学和动力学仿真、热加工工艺模拟、加工过程仿真、产品装配仿真、虚拟样机与产品工作性能评测、产品的广告与漫游、企业生产过程仿真与优化、虚拟企业的可合作性仿真与优化十个方面应用效果比较明显。虽然我国在 VM 技术方面的研究和应用发展很快，但研究多数还是在原先的 CAD/CAE/CAM 和仿真技术等的基础上进行的，同西方发达国家相比，在各个方面我们还存在很大的差距，主要表现在以下几个方面：

1）宏观上缺乏总体发展规划。从国家政策方面看，目前，我国 VM 技术的研究开发环境还缺乏总体的规划，资源分散、利用率低。由于我国当前正处在改革发展的过程中，多种机制并行，多方利益难以协调，在宏观上还没有对先进制造技术的研究和应用形成有效的管理和引导，没有形成有效的外部支持和运行环境，一定程度上制约了 VM 技术的发展。

2）有关的研究投资不足。作为发展中国家，国家财政的使用还受到一定的限制，在当前阶段，还难以做到使用重金支持 VM 技术的研究和发展，同时也缺乏能全面支持 VM 的大型研究与开发中心，这就制约了 VM 技术科研成果的推广应用。

3）研究及应用力度需要进一步加强。几年来，我国 VM 技术的研究热情在增强，但研究的进展和研究的深度还处于初期阶段，与国际的研究水平尚有很大的差距，除了三维建模已经有了几种商业软件外，其他方面还没有形成产业化。并且我国的研究也大多集中于高等院校和少数的研究院所，企业和公司介入的较少，在研究开发上缺少领军式的人物，总体上缺乏既懂计算机、又懂设计与工艺

的复合型人才。VM 技术的支撑技术和单元技术的不断成熟，推动了 VM 技术的组合和集成，但有关技术相对独立，其统一特征模型建立、数据共享和交换等在具体应用方面还受到很大制约。企业需求日趋旺盛，但企业信息化基础薄弱，整体素质不高，管理工作落后，科研能力薄弱，而且受企业人员素质的制约，一些先进的技术还无法取得应有的实际效果。这些都影响了 VM 技术在企业中的应用和发展。

4）缺乏同国际研究机构的有效接轨。在美国、欧洲许多国家已形成了由政府、产业界、大学组成的多层次、多方位的综合研究开发体系，在 20 世纪末就已基本完成了应用基础技术的研究，建立了 VM 技术体系，正向实际应用全面过渡。相比于国外，目前我国 VM 技术主要集中在理论研究和实施技术准备阶段，系统的研究尚处于初期。在具体操作上，国外 VM 技术的消化与国内具体技术环境的结合尚不够，缺乏同国外有关研究机构的联系和合作。目前，虽然我国已具备了相当数量的研究机构从事 VM 技术的研究，但同国外有关机构协同研究、共同开发的机构很少。在自主研究的同时，并没有形成有力支持 VM 技术的国产化相关软件，我国 CAD/CAE/CAM 基础软件、仿真软件、建模技术的制约进一步阻碍了 VM 技术的发展。

6. 超精密加工技术

（1）超精密加工技术国外发展现状　超精密加工技术起步最早的国家是美国，是目前世界上该领域技术水平最高的国家，其后是欧洲的一些国家及日本。美国有 30 多个研究单位和厂家研制和生产各种超精密加工机床，摩尔公司、联合碳化物公司、劳伦斯-利佛摩尔国家实验室、杜邦公司等在国际上均久负盛名。美国最早研制了能加工硬脆材料的 6 轴数控超精密研磨抛光机。在 20 世纪 50 年代末，基于航天等尖端技术发展的需要，美国首先使用金刚石刀具的超精密切削技术，并发展了相应的空气轴承主轴的超精密机床，可以用来加工激光核聚变反射镜、战术导弹及载人飞船用球面及非球面大型零件。如美国劳伦斯-利佛摩尔国家实验室和 Y-12 工厂在美国能源部的支持下，于 1983 年 7 月成功研制了 DTM-3 型大型超精密金刚石车床，该机床可加工的最大零件为 2 100mm、质量 4 500kg的激光核聚变用的各种金属反射镜、大型天体望远镜（包括 X 射线天体望远镜）、红外装置用零件等。该机床的加工精度可达到尺寸误差为 28nm（半径），圆度和平面度误差为 12.5nm，加工表面的表面粗糙度 *Ra* 值为 4.2nm。该机床及该实验室 1984 年研制的 LODTM 大型超精密车床仍是现在世界上公认的

技术水平最高、精度最高的大型金刚石超精密车床。

日本对超精密技术的发展也十分重视。20 世纪 70 年代初，日本成立了超精密加工技术委员会，制定了技术发展规划，成为此项技术发展速度最快的国家。日本现有 20 多家超精密加工机床研制公司，重点开发民用产品所需的加工设备，力图使其设备系列化，并成批生产了多品种商品化的超精密加工机床。日本对超精密加工技术的研究虽然相对于美国、英国来说起步较晚，但是当今世界上超精密加工技术发展最快的国家。日本的超精加工机床生产厂家有 10 多家，产品大多采用 0.01μm 高分辨率的 CNC 系统和激光干涉仪测量，纳米级光刻已超过了美国，居世界领先地位。超精密加工机床的加工精度已达到亚微米级（0.1μm）以下，表面粗糙度 *Ra* 值达到 0.01μm，最高水平的机床已用于制造超大规模集成电路，刻线宽度可达 0.3μm。

（2）超精密加工技术国内发展现状　我国的超精密加工技术在 20 世纪 70 年代末期有长足进步，80 年代中期出现了具有世界水平的超精密机床和部件。我国目前已成功研制出回转精度达 0.025m 的超精密轴系，并已装备到超精密车床和超精密铣床上。目前我国超精密轴系已基本形成系列化，并已达到实用化和商品化程度。北京机床研究所是国内进行超精密加工技术研究的主要单位之一，研制出了多种不同类型的超精密机床、部件和相关的高精度测试仪器等，如精度达 0.025μm 的精密轴承、JCS-027 超精密车床、JCS-031 超精密铣床、JCS-035 超精密车床、超精密车床数控系统、超精密振动-位移测微仪等，达到了国内领先、国际先进水平。北京机床研究所还在近几年研制成功了 CKG300 亚微米数控车床，其主轴精度、重复定位精度、加工件尺寸精度、形状精度及表面粗糙度均优于 1μm，NAM800 超精密数控车床等一系列精密机床已经实现商业化生产。

目前，哈尔滨工业大学精密工程研究所的超精密 KDP 晶体加工机床，工件最大尺寸为 410mm × 410mm，铣刀直径为 600mm。哈尔滨工业大学精密工程研究所研制开发的亚微米超精密加工机床标志着我国超精密机床技术已达到了国际水平，该研究所在金刚石超精密切削、金刚石刀具晶体定向和刃磨、金刚石微粉砂轮电解在线修整技术等方面进行了卓有成效的研究。中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的二元光学元件激光直接写入设备可实现极坐标和直角坐标写入，写入最大口径为 400mm，位移灵敏度为 0.03μm，回转速度为 60 ~ 600r/min，回转轴系径向圆跳动为 0.023μm。国防科技大学研制的非球面加工机床可加工最大口径为 650mm 的光学玻璃，其加工零件表面粗糙度 *Ra* 值为 2 ~ 5nm。中国

航空工业第一集团公司 303 所研制的 Nanosys300 机床有很多创新设计，其加工零件精度可达 0.05～0.1μm，其在超精密主轴、花岗岩坐标测量机等方面进行了深入研究及产品生产。中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、华中理工大学、沈阳第一机床厂、成都工具研究所、国防科技大学等都进行了这一领域的研究，成绩显著。河南理工大学机械与动力工程学院在精密与超精密研究方面也取得了很好的成绩，采用超声珩磨加工方法，实现了工程陶瓷缸套内圆面的高效延性加工，加工效率比普通加工方法高 2 倍，加工精度达到 IT6～IT7 级，表面粗糙度 *Ra* 值为 0.1μm，圆度误差为 0.002mm，圆柱度误差为 0.005mm/1000mm；采用二维超声振动磨削、二维超声振动磨削研磨和二维超声振动磨削抛光工艺对纳米 ZTA 复相陶瓷大型检测平板的纳米表面进行高效制造。获得的大型超精密检测平板（大于 600mm×400mm×40mm）的表面粗糙度 *Ra* 值达到 0.06～0.1μm，平面度可达到 0 级平板要求，表面基本无破碎和微裂纹。

总的来说，我国超精密加工的效率、精度、可靠性，特别是大尺寸规格零件的加工和技术配套性方面与生产实际要求比、与国外比，都还有相当大的差距。和发达国家相比差距主要表现在以下方面：我国还不能生产超精密非球面车床，机床的精度一般比国外要低一个等级，机床精度的保持时间大大低于国外，精密空气主轴、微位移机构、精密 CNC 伺服系统、机床热变形和精密恒温控制、结构稳定性和防振隔振技术都亟待深入研究。

7. 工业机器人

（1）工业机器人国外发展现状　自 1962 年美国推出世界上第一台 Unimate 型和 Versatra 型工业机器人以来，机器人在工业发达国家得到了迅速发展。根据美国电气和电子工程师协会（IEEE）统计，到 2008 年全世界工业机器人的总数将达到 100 万台。其中，日本拥有 50 万台，占全世界机器人总数的 50% 左右，继续保持“机器人王国”地位。除日本外，美国和欧洲一些国家的机器人产业也发展得很快。例如，在美国，1970—1980 年间的机器人台数增加 20 倍以上，尽管美国所拥有的机器人在台数上不如日本，但其技术水平较高，占有一定的优势。到 1998 年，美国拥有 8 万多台机器人，德国为 7 万多台，分别占世界机器人总数的 15% 和 13% 左右，排名世界第 2 位和第 3 位。在亚洲，韩国的机器人产业发展迅速，现排名世界第 5 位；而日本、韩国和新加坡的机器人密度（即制造业中每万名雇员占有的工业机器人数量）居世界第 1～3 位，包揽了前三名。西欧的意大利、法国、英国和东欧的匈牙利、波兰以及北美的加拿大等，机

器人制造业及应用机器人的情况都有很大发展。

国际上工业机器人产业中，著名的公司有瑞典的 ABB 机器人（ABB Robotics），日本的发那科（FANUC）、安川（Yaskawa），德国的库卡机器人（KUKA Roboter），美国的阿达伯特技术（Adept Technology）、美国机器人（American Robot）、艾默生工业自动化（Emerson Industrial Automation）、S-T 机器人（S-T Robotics），意大利的柯马（COMAU），英国的自动化技术机器人（Auto-Tech Robotics），加拿大的 Jcd 国际机器人（Jcd International Robotics），以色列的罗博格鲁伯·泰克（Robogroup Tek）公司，这些公司已经成为其所在地区的支柱性企业。

国际上工业机器人技术在制造业应用范围越来越广阔，其标准化、模块化、网络化和智能化的程度也越来越高，功能越来越强，正向着成套技术和装备的方向发展。在发达国家中，工业机器人自动化生产线成套装备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车行业、电子电器行业、工程机械、农业机械等行业已大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量和生产高效率。目前，典型的成套装备有大型轿车壳体冲压自动化系统技术和成套装备、大型机器人车体焊装自动化系统技术和成套装备、电子电器等机器人柔性自动化装配及检测成套技术和装备、机器人发动机、变速器装配自动化系统技术成套装备以及板材激光拼焊成套装备等。这些机器人自动化成套装备的使用，大大推动了其行业的快速发展，提升了其行业的制造技术水平。

（2）工业机器人国内发展现状　《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》中指出："大力振兴装备制造业，是树立和落实科学发展观，走新型工业化道路，实现国民经济可持续发展的战略举措"。为了提高我国装备制造业企业的核心竞争力，加快提高工业自动化水平，国家和政府出台了如机器人零关税、技术改造免税等政策，对企业工业机器人应用给予了大力支持，从而实现对传统制造业技术的改造，加快产品更新换代效率，提高产品的技术能级和可靠性。

与此同时，装备制造业作为劳动密集型企业，新劳动法的推出及实行无疑大幅度提高了人力成本，无形中增加了企业的生产成本。然而，随着工业机器人技术的日益成熟，伺服电动机、减速器等关键零部件价格明显下调，带动了工业机器人成本的大幅度降低。因此，应用工业机器人取代简单重复的人工操作是降低生产成本的一个有效途径。

根据发达国家产业发展与升级的历程和工业机器人产业化发展趋势，到

2015 年我国机器人市场的容量约达十几万台套。因此，工业机器人的应用在未来相当长的时间内仍将保持快速的增长势头。装备制造业将成为工业机器人应用的主要领域。

近年来，装备制造业中工业机器人得到了广泛的应用。如在毛坯制造（冲压、压铸、锻造等）、机械加工、焊接、热处理、表面涂覆、上下料、装配、检测及库装等作业中，机器人都已逐步取代了人工作业。据专家对国内 542 家用户以及汽车、电子电气、工程机械三个行业的部分用户进行的统计分析，就全国而言，弧焊、点焊、装配、喷涂机器人应用得最多，其次是搬运、上下料（冲压、压铸、铸锻、注射等），再次是包装、码垛、拆垛机器人和密封涂胶机器人，农业领域高危作业等其他机器人用量相对还很少。

我国工业机器人经过几十年的研发取得了不少的科研成果，但目前在我国应用的工业机器人中，国产机器人的数量非常少，主要原因如下：

1）近 10 年来，进口机器人的价格大幅度降低，从每台 7 万 ~8 万美元降低到 2 万 ~3 万美元，使我国自行制造的普通工业机器人在价格上很难与之竞争。特别是我国在研制机器人的初期，没有同步发展相应的零部件产业，如伺服电动机、减速机等需要进口，使价格难以降低，所以机器人生产成本降不下来。

2）科研成果没有和企业有机地进行联合，至今未形成具有影响力的产品和有规模的产业，国产机器人无论从控制水平还是可靠性等方面与国外公司还存在一定差距，尚停留在高校或科研单位组织的零星生产，未能形成气候。

3）国内机器人生产厂家处于发展期，还需要政府政策和资金的支持。机器人是有配套的应用工程，无法像一般通用产品那样，建立简单的产品售后服务网点，这就使国外公司难以做到及时的售后服务，因而导致引进的工业机器人中问题较大的占 33%，根本不能用的多达 16%，国外机器人自动化生产线在我国严重“水土不服”。这就使我国在工业机器人推广应用中提供技术支持、售后和工程设计、实施等整体服务占据较大优势。这也是推广工业机器人发展的突破口，为了抓住这一市场机遇，各国外公司纷纷成立合资公司和联合实验室，针对企业需求设计和开发完整的专用机器人，如 FANUC-上海电气、安川-上海交大、川崎-上大等，这些研发单位的成立，攻克了工业机器人操作机的优化设计制造技术、工业机器人控制技术及驱动系统的设计技术等，为工业机器人在装备制造业中的应用奠定了扎实的产业基础。

（3）工业机器人发展趋势　从近几年世界机器人推出的产品来看，工业机

器人技术正在向智能化、模块化和系统化的方向发展，其发展趋势主要为：结构的模块化和可重构化；控制技术的开放化、PC 化和网络化；伺服驱动技术的数字化和分散化；多传感器融合技术的实用化；工作环境设计的优化和作业的柔性化以及系统的网络化和智能化等方面。装备制造业作为传统产业应该抓住机遇改变“机强电弱”的局面，紧随工业机器人技术的发展，通过工业机器人应用提高企业技术能级。

与此同时，随着工业机器人向更深更广的方向发展以及智能化水平的提高，工业机器人的应用已从传统制造业推广到其他制造业，进而推广到诸如采矿、建筑、农业、灾难救援等各种非制造行业。此外，在国防军事、医疗卫生、生活服务等领域，机器人的应用也越来越多，如无人侦察机、无人飞行器、警备机器人、医疗机器人、家用服务机器人等均有应用实例。机器人正在为提高人类的生活质量发挥着越来越重要的作用，已经成为世界各国抢占的高科技制高点。

8. 数控机床

（1）数控机床国内外发展现状　2010 年，世界 28 个主要机床生产国家和地区产值达 663 亿美元，较 2009 年增长了 21%。其中，我国机床占全球机床产值的 31%。自 2003 年以来，除 2009 年遭遇国际金融危机外世界机床产值一直保持上升走势，2008 年产值达 819.87 亿美元，比 2007 年增长 14.7%。世界机床产值前几位的依次是：中国、德国、日本、美国、意大利、韩国、巴西、印度、法国。

机床行业的特点是产业集中度较高。从 2008 年的产值看，前 10 位之和为 738.64 亿美元，占世界机床产值的 90.1%，其中产值前 5 位之和占世界机床产值的 71.6%。从机床出口看，欧洲是当前世界机床出口最多的地区。企业排名前 7 位的企业分别是：德国的通快、日本的山崎·马扎克、德国的德马吉以及日本的天田、大隈、森精机和捷太格。

尽管我国机床行业在最近几年来有了长足进步，取得了可喜的发展。但是绝大部分中、高档数控机床还是依靠进口，其中德国和意大利的产品较多，它们代表着世界先进水平。国内产品与国外产品在结构上的差别并不大，采用的新技术也相差无几，但在先进技术应用和制造工艺水平上与世界先进国家还有一定的差距。新产品开发能力和制造周期还满足不了国内用户的需要，零部件制造精度和整机精度保持性、可靠性尚需很大提高，尤其是与重型机床配套的数控系统、功能部件，如刀库、机械手和两坐标铣头等部件，还需要国外厂家配套满足。高精

度发动机缸体、缸盖、曲轴、变速器壳体加工柔性自动线（FTL）95%以上依靠进口，国内机床企业不具备提供车辆发动机制造必需的FTL的集成制造能力，特别是国产高速加工中心的精度一致性、可靠性与国外的差距在20年以上；国产曲轴数控铣床、数控磨床的精度、效率、精度一致性、可靠性与国外差距在20年以上。

属于“微机械”的农业机械车辆电子产品，对微纳制造技术和微纳级精密制造装备提出了要求。电子零部件是“复杂、精密、小型”的“微机械”，需求微纳制造技术和微纳级精密制造装备。其中柴油高压共轨喷油器精密加工最具代表性，为保证极高的密封性和滑动性，配合间隙为3μm左右，孔和轴零件的圆柱度误差为1μm，表面粗糙度 *Ra* 值为0.05μm，密封锥面圆度误差为0.5μm。因而，对制造装备的基本要求是微纳级复合加工中心、复合数控车床、数控磨床、珩磨机、数控电加工机床以及精密装配和检测装备等。电控共轨喷油系统制造装备、汽油机缸内直喷系统制造装备，代表了电子零部件要求的成套精密数控机床，如能实现集群式重点突破，我国机床工业将可取得跨越式发展。

国内机床制造企业的制造能力很强，但大而不精，其主要原因还是加工设备落后，数控化率很低，尤其是缺乏高精水平的加工设备。同时，国内企业普遍存在自主创新能力不足的问题，重型机床单件小批量的市场需求特点，决定了其对技术创新的要求更高。国内数控机床产品与发达国家著名企业相比仍存在一定差距，产品水平的差距主要体现在：

1）主轴转速。国外先进水平已发展到最高达3 000～4 000r/min，而国内主要徘徊在800～1 500r/min。

2）快速进给。国外先进水平达20 000～30 000mm/min，而国内主要在6 000～10 000mm/min。

3）精度。国外先进水平定位精度达到0.015mm/1 000mm，重复定位精度达到0.003～0.007mm；国内产品定位精度为0.025mm/1 000mm，重复定位精度为0.01～0.015mm。

4）其他。机床的可靠性、精度的稳定性、复合多功能、柔性化、智能化方面不如国外厂家，外观质量也有明显的差距。

（2）数控机床发展趋势　随着数控技术和材料科学的发展，近年来世界数控机床向高速、精密、智能和绿色方向发展，具体表现在以下几个方面：

1）高速化。机床向高速化方向发展，不但可大幅度提高加工效率、降低加

工成本，而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性。欧、美、日等争相开发应用新一代高速数控机床，加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元（电主轴，转速15 000～100 000r/min）、高速且高加/减速度的进给运动部件（快移速度60～200m/min，切削进给速度高于60m/min）、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破，达到了新的技术水平。

2）精密与超精密化。从精密加工发展到超精密加工，是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级乃至纳米级（<10nm），其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削（车、铣）、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工（微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等）。随着新材料及新零件的出现，更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺，发展新型超精密加工机床，完善现代超精密加工技术。近10年来，精密级加工中心的加工精度从±(3～5)μm提高到±(1～1.5)μm。

3）复合化。在零部件一体化程度不断提高、数量不断减少的同时，加工的产品形状日益复杂，多轴化控制的机床适合加工形状复杂的工件。另一方面，产品周期的缩短要求加工机床能够随时调整和适应新的变化，满足各种各样产品的加工需求，这就要求一台机床能够处理以往需要几台机床处理的工序。复合加工机床突出体现了工件在一次装夹中完成大部分或全部加工工序，从而达到减少机床和夹具、免去工序间的搬运和储存、提高工件加工精度、缩短加工周期和节约作业面积的目的。复合加工机床已成为机床发展的一个重要方向。

4）开放化。为适应数控进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求，最重要的发展趋势是体系结构的开放性，设计生产开放式的数控系统。

5）智能化。现代数控机床将引进自适应控制技术，根据切削条件的变化，自动调节工作参数，使加工过程中能保持最佳工作状态，从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度值，同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。具有自诊断、自修复功能，在整个工作状态中，系统随时对CNC系统本身以及与其相连的各种设备进行自诊断、检查。一旦出现故障，立即采用停机等措施，并进行故障报警，提示发生故障的部位、原因等。还可以自动使故障模块脱机，接通备用模块，以确保无人化工作环境的要求。为实现更高的故障诊断要求，其发展趋势是采用人工智能专家诊断系统。

6）绿色化。为了制造符合环保要求的机床，干式切削和微量润滑剂切削方法因其可大大减少润滑剂的挥发而得到越来越广泛的应用，同时，机床操作者在工作时的环境、位置会设计得非常舒适。此外，无污染的清洁加工技术也受到极大重视。

在“十二五”期间，国家将继续坚持扩大内需的方针，进一步规范投资市场，实施积极的财政政策和稳健的货币政策，适时适度调整政策的力度和重点，切实把工作重点转到调整转变增长方式、提高增长质量和效益上来，保持我国经济平稳增长。因此，宏观经济环境将更有利于机床工具行业的发展。随着科技进步、产品升级以及国家重点工程、地方投资项目的不断推进，国民经济各行业对机床工具产品的需求水平将进一步提高，市场需求将向更高层次发展，新一轮的市场竞争也将更加激烈。

9. 柔性制造系统（Flexible Manufacturing System，FMS）

（1）柔性制造系统国外发展现状　美国、日本、前苏联、德国等发达国家在20世纪60年代末至70年代初，先后开展了柔性制造技术以及装备的研制工作。1976年，日本发那科公司展出了由加工中心和工业机器人组成的柔性制造单元，为发展柔性制造提供了设备基础。20世纪80年代，随着柔性制造技术的成熟，柔性制造得到了迅速发展，并主要应用于飞机、汽车制造业。依靠计算机、加工中心和数控机床组成的柔性自动加工系统，使汽车业由单一品种、大批量的生产方式，转向中小批量、多品种、适应市场要求的精益生产方式，也使汽车生产企业的经济效益和管理水平大大提高。国外汽车工业中，主要汽车厂商如通用、福特、宝马、奔驰、丰田、大众、雷诺、沃尔沃等公司都采用了柔性制造系统。例如，美国福特汽车公司在加拿大的一个发动机厂，在同一条自动线上对4.6L、5.4L V8发动机和6.8L V10发动机实现随机混流生产（年产65万台）；而通用汽车公司的传动系部门于1993年开始作同样的准备，采用FMS以满足变速器类壳体零件多品种的制造要求；日本汽车业在20世纪70年代开始大力发展柔性制造，到1987年已经形成较大规模，拥有数控机床20万余台，有柔性制造生产线21条。据日本通产省第8次特定机械设备统计调查表明，以汽车制造业为核心的输送机械制造业，1987年拥有FMS 31条，1994年增加到818条。大型汽车制造企业FMS采用得最多，用了7年间增加总量的41%。柔性制造为日本汽车工业生产率追上并超过美国创造了条件。日本汽车在国际市场上畅销不衰与其柔性化制造密切相关。

随着各类先进加工技术的相继问世，柔性制造技术本身也在不断完善和提高。如瑞士的一家工业公司采用了由激光加工中心及 CNC 自动车床和自动磨床组成的柔性制造单元，该单元由于改用激光加工中心来代替原来的铣床，生产率提高了很多倍，而且产品精度高、质量好。以数控加工为例，为向柔性制造提供基础设备，要求数控系统不仅能完成通常的加工功能，而且还应具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头（有时带坐标变换）、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网功能，特别是依据用户的不同要求，可方便灵活地配置和集成。各种相关技术的不断进步，促使柔性制造规模不断扩大，将对汽车生产产生深刻影响。

（2）柔性制造系统国内发展现状　国内汽车业与发达国家一样，也是先进制造方式的发源地。20 世纪 80 年代，随着改革开放的推进，我国汽车工业开始向发达国家汽车工业系统地学习先进的生产方式和制造方式，其中就包含有柔性制造的内容。20 世纪 80 年代中后期，汽车行业的主要生产厂家开始在一些工艺流程和产品制造中尝试柔性制造，初步积累了经验。20 世纪末至今，随着国内汽车企业实力的增强，以及外国公司的大规模进入和生产装备的改善，柔性制造在我国汽车工业的发展较快。如：主要汽车生产厂家第一汽车集团等在一些生产领域开始进行柔性制造，在焊装车间等使用多种机器人，在生产工序上机械手以及其他自动化设备不断增多，在一定程度上可实现多品种的混线生产；一汽-大众汽车有限公司用具有 343 三坐标模块的组合机床柔性自动线生产轿车变速器和离合器壳体，自动线节拍达到 40.5s，年生产能力为 36 万件，工序能力指数 CP ≥1.33，可连续 4 星期无故障生产。再如上海通用汽车公司也拥有柔性化生产线，涵盖了各大总成及整车等制造环节，提高了产品换代速度。随着汽车工业的发展，汽车零部件加工也在向柔性制造方向发展。FMS 带来了加工的高度灵活性，使其保持高生产率的同时还能生产更多种类的零件。加工中心作为汽车零部件生产线的重要组成模块，为满足汽车零部件生产领域可靠、高效的生产提供了保证。其开放式结构和柔性结构技术的模块化，以及加工中心切削速度和精度的进一步提高，使汽车零部件工业获得了更好性价比。总之，柔性制造正向车辆制造的各个领域发展。

（3）柔性制造系统发展趋势　当今，“柔性”“敏捷”“智能”和“集成”乃是制造设备和系统的主要发展趋势。FMS 的构成和应用形式将更加灵活和多样化，小型 FMS 在吸取了 FMS 应用实践经验后获得了迅速发展，其总体结构通

常采用模块化、通用化、硬软件功能兼容和可扩展的设计技术。这些模块具有通用功能化特征，相对独立性好，配有相应硬软件接口，易按不同需求进行组合和扩展。与大型 FMS 相比，投资较低，运行可靠性好，成功率较高。这种小型化 FMS 和伴随着分布式数控（DNC）、FMS 技术发展而附带生产的柔性制造单元（FMC）技术将具有更加强大的生命力，并将得到快速发展和广泛应用，还可能形成商品化的柔性制造设备，成为制造业先进设备的主要发展趋势和面向 21 世纪的先进生产模式。

10. 再制造工程

（1）再制造系统国外发展现状　目前，再制造业在美国经济中已占有重要位置，再制造深入到多个工业领域，如汽车、农机、工程机械、压缩机、电子电器、办公用品、轮胎、阀门等诸多领域。汽车零部件的再制造是美国再制造研究最早的领域，并已经形成了规模相当大的产业。美国福特公司已建立全球最大的汽车回收中心，并花巨资买下欧洲最大的汽车修理连锁公司；美国汽车工业协会已经对一些具体零部件的再制造制定了标准，在美国所有的再制造行业中，汽车再制造业是最大的。目前，再制造几乎已经涉及汽车所有的零部件，再制造产品都严格地按照再制造工艺的检验和试验标准进行，保证质量等同或优于新产品。

美国军队是世界上目前最大的再制造受益者，在军用装备中大量使用再制造零部件，这不但节约了军用装备的制造费用，而且延长了装备的寿命并提高了装备的维修能力。再制造工程的研究已经引起美国国防决策部门的重视，将武器系统的性能升级、延寿技术和再制造技术列为目前和将来国防制造重要的研究领域。包括 IBM 在内的计算机公司正在回收旧机器的芯片；包括朗讯科技公司在内的通信设备公司正在再制造开关装置；施乐公司推出“绿色再制造计划”，由公司支付费用回收和重复使用墨盒等零件，使制造成本降低 40% ~65%；惠普公司提出了名为“地球伙伴计划”的全球环保硒鼓回收计划，可将硒鼓质量的 90% 重新利用，收回的硒鼓一部分被转换为原材料，另一部分无损的部件经过再制造后用于制造过程；从 1990 年以来，富士公司和柯达公司开始回收一次性相机，把它的闪光灯和其他部件重新用在新相机上。近年来，在美国越来越多的企业从事再制造，据波士顿大学最近的统计，美国约 73 000 个企业从事再制造，从业人员达到 48 万人，再制造业的年销售额达到 530 亿美元，其中 360 亿美元的再制造零部件占据了美国汽车维修零部件市场的 70% ~90%。

此外，美国的许多大学正在进行再制造技术研究和教学。美国罗切斯特理工学院有一个专门从事再制造工程研究的全国再制造和资源恢复中心；田纳西大学无污染产品和技术研究中心将进行汽车行业的再制造技术研究；北卡罗来纳大学凯南-弗拉格勒商学院进行逆向后勤学的教学，逆向后勤学是把产品收回，然后对其进行再制造。许多学校在工业设计课程中讲授再制造技术，要求在工业产品设计中考虑设备部件的再制造性，认为在设计产品时只考虑一次性使用是不合理的。有报道，福特汽车公司正在建立一个旧部件交流中心，从环保出发，充分利用回收再制造的部件，一年将实现 10 亿美元的营业额。

欧洲主要工业化国家的一些大企业都相继开展了再制造，著名的宝马、大众、奔驰等汽车企业建立了汽车拆卸试验中心；瑞士的卡斯特林公司专门向世界各国提供再制造服务；德国奔驰汽车公司在汽车的整个寿命周期（包括设计、制造、使用、维修和报废）都体现回收利用的概念，从设计开始就注重汽车的可回收性，到报废时再拆卸回收利用。

（2）再制造系统国内发展现状　我国对再制造工程的研究与应用尚处于起步阶段，对再制造相关理论和再制造技术本身也开展了积极的研究。将再制造作为一门学科体系加以全面研究推广是由装甲兵工程学院徐滨士院士首先倡导和推动的。1999 年 6 月在西安召开的先进制造技术国际会议上，徐滨士院士发表了《表面工程与再制造技术》的学术论文，在国内最先提出了“再制造”的概念。国家自然科学基金委员会先后将“再制造设计基础与方法”和“再制造基础理论与关键技术”列为国家自然科学基金项目。2000 年 1 月，12 位院士及多名专家完成了中国工程院咨询项目《绿色再制造工程及其在我国应用的前景》咨询报告。咨询报告初步分析了再制造工程的技术内涵和组成，阐述了再制造工程在我国应用的前景，并对在我国发展再制造工程提出了建议。2003 年又完成了《废旧机电产品资源化》咨询报告。2001 年 5 月，中国人民解放军总装备部批准立项建设我国首家再制造领域的国家级重点实验室——装备再制造技术国防科学技术重点实验室，挂靠装甲兵工程学院。2003 年 8 月，科学技术部和中国工程院在论证制订我国 2020 年中长期科学技术发展规划第三专题制造业发展科学问题研究时，将“机械装备的自修复与再制造”列为 19 项关键技术之一。2004 年 5 月，在济南召开了首届机电装备再制造工程学术研讨会。

在再制造工程的应用方面，我国已率先在民用方面开展了再制造活动。上海大众联合发展有限公司对桑塔纳轿车发动机进行了再制造，其研发、生产与销售

都已初具规模；沈阳大陆激光集团有限公司对大型轧辊与涡轮叶片进行了再制造，解决了堆焊等传统工艺无法解决的维修难题；济南复强动力有限公司主要从事发动机的再制造，是国内第一家汽车发动机再制造公司，再制造发动机的性能与新产品相当，某些指标已超过新产品，产品具有与新产品相同的保修期，但成本却仅为新产品的 50% 左右。发动机再制造的模式已经在胜利油田、鞍钢和采矿业等部门及发动机零售业中得到了应用，效果明显地优于大修的模式。例如，使用再制造发动机停机时间短，只需要一天便可以完成更换，而大修则需要近一周的时间才能完成，由此造成大量的经济损失，大修后一般保修期是 3 个月，再制造发动机按照新机的保修标准，保修半年，故障率低。目前投入市场的再制造发动机中有的使用寿命已接近 150 000 ~ 200 000km，达到了新机的寿命。

目前再制造的研究主要集中在再制造生产的表面工艺、逆向物流和再制造物流的发展策略等再制造单项技术、概念与结构框架为主的研究上，缺乏对再制造的系统性研究，这也与再制造行业刚刚起步、远没有形成产业有关。虽然我国对再制造的研究开展较晚，还有许多问题需要探讨，包括市场运作方面的许多问题及法律、法规、标准配套问题等，但是再制造作为一种变革传统生产方式、生活方式的社会经济活动，在节能节材、保护环境和走可持续发展道路方面具有重要意义。从长远来看，再制造工程是实现产品可持续发展的有效手段，是延长产品生命周期的重要方法，在产品的全寿命周期或多寿命周期中具有不可替代的地位。再制造产业作为一种先进的新型循环经济形态，是集经济、技术和社会于一体的系统工程。以源头预防和全过程治理来代替末端治理，已成为世界环境与发展政策的主流，再制造工程在我国必将得到逐步认同和蓬勃发展。

14.3 先进制造物流技术

物流早期是从西方市场学理论中产生的，是指销售过程的物流。在欧美经济发达国家，物流的发展经历了数十年。在美国，物流的发展已有近百年的历史。在我国物流起步较晚，与发达国家物流发展水平还存在相当大的差距。

1. 先进物流技术应用现状

纵观欧美国家及日本的相关发展经历，目前物流技术在先进制造领域的应用现状如下。

1）物流技术高速发展，物流管理水平不断提高。国外物流企业的技术装备已经达到相当高的水平，目前已经形成以信息技术为核心，以信息技术、运输技

术、配送技术、装卸搬运技术、自动化仓储技术、库存控制技术、包装技术等专业技术为支撑的现代物流装备技术格局。主要表现在：信息化，广泛采用互联网技术、卫星定位技术（GPS）、地理信息系统（GIS）和射频标识技术（RF）、条形码技术等；自动化，自动引导车（AGV）技术、搬运机器人技术等；智能化，电子识别和电子跟踪技术、智能交通与运输系统（ITS）；集成化，将信息化、机械化、自动化和智能化融于一体。

2）专业物流形成规模，共同配送成为主导。制造厂商为了迎合消费者日趋精益化、个性化的产品需求，而采取多样、少量的生产方式，因而高频度、小批量的配送也随之产生。目前，在美国、欧洲和日本等经济发达国家和地区，专业物流服务已形成规模，它有利于制造商降低流通成本，提高运营效率，并将有限的资源和精力集中于自身的核心业务上。

3）电子物流需求强劲。基于互联网络的电子商务的迅速发展，促使了电子物流的兴起。企业通过互联网加强了企业内部、企业与供应商、企业与消费者、企业与政府部门的联系沟通、相互协调、相互合作。消费者可以直接在网上获取有关产品或服务的信息，实现网上购物。这种网上的“直通方式”使企业能迅速、准确、全面地了解需求信息，实现基于客户订货的生产模式和物流服务。此外，电子物流可以在线跟踪发出的货物，联机实现投递路线的规划、物流调度以及货品检查等。可以说电子物流已成为21世纪国外物流发展的大趋势。一方面电子物流的兴起，刺激了传统邮政快递业的需求和发展；另一方面，新兴的快递业发展迅猛，触角伸向全球各地。

4）绿色物流新趋势。物流虽然促进了经济的发展，但是物流的发展也会对城市环境产生负面的影响。为此，21世纪对物流提出了新的要求，即绿色物流。绿色物流主要包含两个方面，一方面是对物流系统污染进行控制，即在物流系统和物流活动的规划与决策中尽量采用对环境污染小的方案，如采用排污量小的货车车型，近距离配送，夜间运货（以减少交通阻塞、节省燃料和降低排放）等。发达国家倡导绿色物流的对策是在污染发生源、交通量、交通流三个方面制定了相关政策。绿色物流的另一方面就是建立工业和生活废料处理的物流系统。

2. 先进制造物流技术发展趋势

结合先进物流技术的发展历程，先进制造中的物流技术发展趋势主要有：库存管理中的联合库存管理技术，仓储技术中的自动化立体仓库技术，搬卸装运技术中的集装化装卸搬运技术，自动导引搬运技术以及虚拟物流技术。

（1）联合库存管理技术　联合库存管理（Jointly Managed Inventory，JMI），是一种在供应商库存管理（VMI）的基础上发展起来的上游企业和下游企业权力责任平衡和风险共担的库存管理模式。联合库存管理体现了战略供应商联盟的新型企业合作关系，强调了供应链企业之间的互利合作关系。联合库存管理强调供应链中各个节点共同参与，共同制订库存计划，使供应链过程中的每个库存管理者都从相互之间的协调性考虑，保持供应链各个节点之间的库存管理者对需求的预期保持一致，从而消除了需求变异放大现象。联合库存管理的实施需要以下条件：建立供需协调管理机制，供需双方应从合作的精神出发，建立供需协调管理的机制，明确各自的目标和责任，建立合作沟通的渠道；发挥两种资源计划系统的作用，即目前较为成熟的 MRPⅡ和 MRP 资源管理系统，原材料库存协调管理中心应采用制造资源计划系统（MRPⅡ），产品联合库存协调管理中心则应采用物资资源配送计划（MRP）；建立快速响应系统，以减少供应链中从原材料到用户过程的时间和库存，最大限度地提高供应链的运作效率；发挥第三方物流系统的作用，把库存管理的部分功能交给第三方物流系统管理，可以使企业更加集中精力于自己的核心业务。

（2）自动化立体仓库技术　自动化立体仓库基本由高层货架、托盘、巷道堆垛机、输送机系统、自动导引车系统、自动控制系统、库存信息管理系统构成。自动化立体仓库具有较多的优越性，对企业来说主要体现有：提高空间利用率，充分节约有限且宝贵的土地，自动化立体仓库的空间利用率与其规划紧密相连，一般为普通仓库的 2～5 倍；便于形成先进的物流系统，提高企业生产管理水平，自动化立体仓库采用先进的自动化物料搬运设备，不仅能使货物在仓库内按需要自动存取，而且可以与仓库以外的生产环节进行有机的连接，并通过计算机管理系统和自动化物料搬运设备使仓库成为企业生产物流中的一个重要环节。当今自动化立体仓库的主要发展趋势是实现企业外购材料和自制生产件的短时储存，并在指定的时间自动输入到下一道工序进行生产，从而突破传统仓库的“静态储存”，实现“动态储存”功能，形成一个自动化的物流系统。

（3）集装化装卸搬运技术　集装化是将货物装入具有一定规格尺寸的集装箱、集装袋等容器，或按一定排列方式堆放在标准托盘上，形成货物的储存单元，并以单元方式成组进行运输和装卸搬运等物流作业。集装化这种成组化、规格化、标准化的运输和装卸搬运方式适合机械化、标准化操作，便于大量运输，能大幅度提高运输和装卸搬运效率，减少货损货差，节省人力物力，降低运输成

本，尤其是集装箱物流，中途无需开箱，通过连续的运输和装卸搬运即可直接送达收货人。集装化物流可以分为集装箱物流、集装袋物流和托盘成组式物流，其中集装箱物流最具代表性，集装袋物流用于邮政系统，托盘成组式物流主要用于配送中心、自动化立体仓库。

（4）自动导引搬运技术　自动导引车（Automatic Guided Vehicle，AGV）是一种现代化的先进物料搬运技术装备，能自动地和不受机械约束地从一个地点把载荷移送到一个指定地点，这个系统采用先进电子控制系统或计算机运行系统管理并形成一个功能网络，具有一定的柔性程度。AGV 通常具有四个子系统，即自动导向系统、动力系统、控制和通信系统及安全系统。

自动导引车的工作流程具体为：控制台通过计算机网络接收立体仓库管理系统下达的 AGV 输送任务，通过无线局域网通信系统实时采集各 AGV、拆箱机器人的状态信息；根据需求情况和当前 AGV 运行情况，将调度命令传递给选定的 AGV；AGV 完成一次运输任务，在托盘回收站待命，等待下次任务。各立体仓库出货口和拆箱机器人处均有光导通信装置。对于运行中的 AGV，控制台将通过无线局域网通信系统与 AGV 交换信息，实现 AGV 间的避碰调度、工作状态检测、任务调度。在立体仓库和拆箱机器人处通过光导通信与 AGV 交换任务和状态，完成移载。

（5）虚拟物流技术　随着物流行业生产自动化水平的不断提高，生产系统越来越复杂，生产节奏越来越快，生产管理者对生产改进的每一个决策，都需要谨慎考虑，措施不当往往需要付出高昂的代价。由于物流系统的复杂性、快节奏和柔性，需要借助计算机仿真技术来对物流系统进行精确计算和验证分析，提高系统方案的可行性。正因为如此，近年来虚拟物流技术得到了广泛的发展。

对于物流系统规划，可以通过运行仿真模型，评价规划方案的优劣并修改直至给出最优方案，可避免不合理的方案带来的资金、人力和时间的浪费。

物流系统仿真技术的研究，日益受到人们的重视并做了大量的研究工作。物流系统仿真的核心是计算机图形技术的应用，通过仿真软件来实现。常见的物流仿真软件有 AUTOMOD、E-Factory、ShowFlow、RaLC 和 WITNESS 等。未来的发展趋势是将物流仿真软件和虚拟现实软件相结合，在虚拟现实环境下对物流系统进行仿真。

14.4 先进制造产业组织化技术

1. 先进制造产业组织国外发展现状

20 世纪 90 年代中期以来，工业发达国家纷纷调整产业政策与技术政策，将高新技术发展的重点转向先进制造技术领域。比如：美国出台了“先进制造技术计划”和“制造技术中心计划”；德国出台了“制造 2000 计划”；日本实施了“智能制造技术计划（MS）”，以提高制造业的竞争力。进入 21 世纪以来，发达国家的制造业出现了全球化、高技术化、数字化、智能化、网络化、虚拟化、敏捷化、集成化、集群化和绿色化等特征，新的生产模式不断涌现。发达国家对现代制造模式进行了深入的研究，依托以信息技术为代表的高新技术，对企业体制、生产组织、经营管理及技术系统的形态和运作进行整合，将先进的制造技术与先进的制造模式相匹配，推广了柔性制造系统、计算机集成制造系统、精益生产、供应链管理、清洁生产等现代方式，形成了强劲的竞争力。

20 世纪 90 年代以来，日本制造业逐渐形成了基于产品构造和要素禀赋差异的功能性国际分工：将高技术和专用性强的整体型构造的产品及工序留在国内，通过系列组织的精益生产方式来增强核心竞争力；将使用通用技术的模块型产品及工序转移到国外进行生产和组装，然后将产品出口到欧美或者返销国内。

日本是世界上名列前茅的制造业强国，虽然在后工业化时代和长达数十年的“平成萧条”中，日本制造业占国内生产总值（GDP）的比例趋于下降，但制造业在经济生活中的重要性依然不容低估。据经济合作与发展组织（OECD）的统计，2003 年制造业产值占 GDP 的比例，韩国为 32.9%，德国为 24.8%，日本为 24%，英国为 19.6%，美国为 18.4%，法国为 17.5%。日本制造业的综合波及效应系数高达 2.1（即制造业某部门每增加 1 单位产值，将引起制造业内部以及非制造业增加 2.1 个单位产值），远高于服务业的综合波及效应 1.52。日本制造业的劳动生产率始终高于所有产业的平均劳动生产率，虽然在经济萧条期徘徊不前，但近十年来也出现了明显的回升。此外，日本工业制品占出口的比例高达 94%，在发达国家中高居榜首。日本企业在制造环节保持较高收益的秘诀大致有两点：一是通过独特的产业组织和供应链管理（SCM），实行小批量多品种的精益生产方式，这种生产方式不仅降低了库存，提高了生产和流通效率，而且能够灵活应对市场需求的变化；二是实行以产品构造和要素禀赋为基础的功能性国际分工，将不需要采用精益生产的产品或工序转移到低要素成本的国家或地区，达

到降低生产成本的目的。

日本制造业的核心竞争力主要来源于其独特的产业组织结构——系列企业联盟（Keiretsu）组织（企业之间）和生产现场的团队作业方式（企业内部），这两方面的结合形成了以全面质量管理（QTM）和准时生产制（JIT）等为代表的精益生产方式。

以日本的汽车产业为例，在日本汽车工业发展之初，由大企业和中小企业之间通过层层承包的方式，形成一种金字塔形的多层次“纵向行业分工协作体系”，由此形成产业集群化效应。20 世纪 80 年代以来，为了应对全球化和模块化潮流所带来的挑战，组织结构正在由金字塔形结构向网状结构转换。推行标准化和国际化战略，把可模块化的通用零部件及工序从价值链中分解出来，转移到低成本的国家和地区进行生产，其竞争力主要取决于要素成本。将高技术和专用性强的整体型构造的产品及工序留在国内，通过系列组织的精益生产方式来增强核心竞争力。归结下来，日本汽车工业的成功要素按照重要性可以归纳为产业组织结构、生产管理模式、产品技术创新、政策引导扶持和海外扩张策略等方面。

在美国，20 世纪 70—80 年代，曾经把制造业视为“夕阳工业”，放松了对它的重视，力图将经济发展中心由制造业转向以服务业为主的第三产业。在这种思潮影响下，美国制造业的国际竞争力严重削弱。到 1990 年前后，其竞争力降到第二次世界大战后的最低点，汽车、机床等传统强项让位于他国，对外贸易逆差猛增。20 世纪 90 年代初期，美国意识到 70% ~80% 的社会财富是制造业创造出来的，制造业前景广阔。由此，美国在进行深刻反省后采取了一系列有力的措施振兴制造业，并首先提出了发展先进制造技术（AMT）。

分析目前美国的产业结构，尽管服务业对国民经济贡献的比例很高，但制造业对国民生产总值的直接贡献率始终超过 20%，拉动经济增长率 40%。20 世纪 80 年代以来，美国在产业结构调整中逐步放弃了以大批量生产和垂直一体化为特征的传统产业及其组织结构（如“福特制”），转而大力发展 IT 产业和服务业，并形成了一种高效的产业组织结构——通过产业链的解构和外包共享供应商生产能力的模块化分工网络，借此实现了产业复兴。

2. 先进制造产业组织国内发展现状

制造业是工业的主体，其发展水平是一个国家或一个地区工业化水平的标志。从一定意义上说，工业化的过程就是制造业内部结构升级换代的过程。在我国，制造业在国民经济中具有十分重要的地位，在推进我国的工业化进程，实现

国民经济的持续稳定发展中发挥着重要的作用。第一，世界经济发展的趋势表明，制造业是一个国家或一个地区经济发展的基石，也是增强国家或地区竞争力的基础。第二，制造业是解决我国就业问题的一个重要领域，也是21世纪提高一个国家整体就业水平的重要基础。第三，制造业不仅是高新技术的载体，而且也是高新技术发展的动力。

随着经济全球化，世界发达国家制造业纷纷抢滩我国市场，制造业竞争将进入白热化状态，在这样的背景下，我国制造业要振兴，必须抓住世界制造业的发展机遇，结合制造业的发展现状，加快调整制造业布局和发展重点，在与国外制造业的竞争中，获得比较利益。围绕发展我国制造业，许多省（市）都把发展制造业作为区域经济发展的突破点。我国制造业发展的最大特点是区域结构明显，已经形成长江三角洲、珠江三角洲和环渤海湾三大制造区域，成为我国最重要的制造业基地；西部的重庆和东北三省也制定了振兴老工业基地计划，大力发展装备制造业和其他优势制造业。

关于我国汽车制造业的产业集中度，学者程贵孙、余小华、魏晓宁、张占钊、谢纳都进行了系统的研究。以代表行业内前四大企业的市场占有率之和，比较1997—2004年间我国汽车制造业市场的集中度，可以看出，我国汽车制造业行业集中度呈上升趋势。但总体来讲，规模不经济的问题依然十分突出。轿车生产线的最小有效规模至少应达到15万~20万辆，考虑到仓储、运输、营销网络、售后服务的成本摊销，工厂层次的最小有效规模应为25万~30万辆，轻型货车企业为10万~12万辆，中型货车企业为6万~8万辆。而在我国汽车制造业中，只有5家企业的年产量超过10万辆，仅有上海大众汽车公司一家接近规模经济，分散的生产能力和小规模生产是目前我国汽车制造业（特别是轿车业）的两大特征。这也为我国农机制造业提供了借鉴。

在产品差异化程度方面，我国轿车产品的差异化程度还有待提高。一方面，从供给角度来看，我国的汽车生产还处于标准化阶段，由于我国的汽车制造业尚未进入规模经济阶段，生产厂商需要通过标准化的市场进一步扩大单位产量，从而获得规模报酬，并进一步巩固寡头垄断地位；另一方面，从需求角度看，随着人均国民收入的增加，对于汽车的需求越来越集中于轿车产品，而我国的经济尚未达到发达水平，对轿车的需求虽然在数量上有大幅度的增长，但仍然局限于较低端的领域，而产品的差异化往往是以市场为导向的，生产者对产品的创新与改进由市场需求推进，我国目前市场需求趋同的现状没有对产品差异化起到促进

作用。

市场上卖者的数量是影响市场结构的重要因素。经济全球化条件下，进退壁垒的概念需要拓展，国外同类企业的贸易和投资行为也应该视为产业进入，不同国家进入壁垒的差别成为影响产业竞争力的因素。不论是从源于企业自身实力而形成的壁垒，还是从非关税壁垒来看，对发达国家市场的进入都是比较困难的。从我国制造业实际情况来看，制造业作为竞争性领域，对内对外开放程度要大于其他产业，并且由于企业规模普遍偏小、产品差异化程度低等原因，制造业的进入壁垒很低。由于资本市场、破产机制和职工安置等原因，我国制造业存在较高的退出壁垒，从而使大多数制造业卖者数量过多，进一步恶化了产业竞争形势。在国际竞争中，我国企业的国际化经营要远远落后于国外企业进入中国的程度，外商投资企业的大量进入和独资化趋势，加剧了我国制造业低进入壁垒和高退出壁垒形势。外资企业的进入，对我国经济的发展作出了很大的贡献，但是，从提高我国产业竞争力的角度出发，还需要对外资企业的作用进行辩证的分析。提高我国利用外资的水平，防止被外资利用和民族企业被边缘化是一个重要的现实问题。

分析以上三个影响产业组织的主要因素，得出了我国制造业存在过度竞争形势的初步结论。过度竞争的市场结构从两方面影响我国制造业的产业竞争力：一是过度竞争的市场结构影响资源的配置效率，从根本上影响我国产业的经营效率，影响产业竞争力的提高；二是在垄断利润的争夺上，过度竞争的市场结构使我国企业处于不利的竞争地位，大部分垄断利润被跨国企业占有，这也会严重削弱我国的产业竞争力。当前，我国应该在市场竞争的基础上，有针对性地采取适度提高我国制造业市场集中度、提高制造业产品差异化水平和改善制造业非对称进退壁垒的具体措施。另外，在经济全球化条件下，我国政府职能需要转变，但是，考虑到发达国家放松管制会提高其产业的垄断优势，而我国政府一味地放松管制却不利于改善我国过度竞争的市场结构，因此，我国政府不能照搬西方国家放松管制的理念，政府应该在优化产业组织方面有所作为，应该在产业国际竞争中扮演重要的角色。

14.5 国内外农业机械先进制造技术应用现状

先进制造技术最初出现在 20 世纪 80 年代末，在 1994 年美国政府就已批准将先进制造技术列为唯一重点支持的科学领域。据统计，工业发达国家的机械制

造业占整个国家制造业的60%以上。“十五”和“十一五”期间我国也将先进制造技术作为优先支持方向，进行了大量的基础研究和应用研究。近年来，随着先进制造技术的不断发展，汽车行业和航空航天领域采用多种先进制造技术相结合的形式以最大限度地提高产品制造能力。农业机械制造业采用的技术比较落后，先进制造技术应用不多，只有零星的几家先进企业有所涉及，仍需提高。

14.5.1 国外应用现状

发达国家农业机械的生产和制造已经从过去传统的制造方式转向现代制造方法，产品的数字化设计技术、数控加工技术、柔性生产线、各种工业机器人已大量运用于实际生产中。企业已经建立了完整的信息化管理系统，先进的生产管理技术也都已应用到生产实际。采用现代产品开发技术，注重产品创新设计，缩短产品的设计周期，提高产品的竞争力；生产工艺将适应于批量小、品种多、质量高的要求，生产柔性更大，效率更高，对产品的全生命周期的质量要求更普遍。

美国是世界上农业最发达、装备技术最先进的国家之一。美国的农业生产已经步入全程机械化阶段，并在向全面自动化阶段迈进。一大批首先被运用于军事领域的先进制造技术成果被运用于农业制造领域，造就了诸如约翰迪尔公司等一大批大型农业机械装备制造企业，并逐渐形成了自动化、标准化、系列化、高效率、高性能及高通用性的产品特点，农业机械的平均无故障时间大大提高。农业机械生产有效借鉴了现代工业生产的模式，是美国农业现代化发展的重要支柱。约翰迪尔公司设计生产的农业机械，具有优异的操控性能、良好的耐用性和简单的操作方式。在产品设计阶段引入现代化的计算机辅助设计手段，对产品的各项指标进行模拟分析，确保系统的可靠性。同时大量先进的数控加工中心、自动控制系统、制造工艺、机器人等被用于农机装备的制造过程，有效保证了产品质量，并且降低了制造和维护成本。

近年来，随着农业技术和当代科技的发展，为了更好地适应农业作业和全球化市场的需求，以及订单式农业机械生产方式的需要，农业计算机网络技术、产品快速设计制造技术、电子自动化控制技术、作物生长模拟技术、计算机辅助决策技术、遥感技术、精确农业技术等多项技术不断运用于克拉斯（Class）、格力莫（Grimme）等世界知名的农业机械公司的产品设计制造过程中，并取得了众多的农业机械科技创新成果。意大利的菲亚特集团纽荷兰公司（Newholland）生产的FIATAGRI系列拖拉机，不仅广泛采用了液压技术和自动控制技术，而且在

生产过程中还普遍采用了激光技术、自动焊接、机器人和数控机床等先进制造技术。凯斯万国（Case）公司在能源价格上涨，农业机械成本急剧上升之际，采用了包括自动生产管理系统、智能控制系统、较高的作业效率和生物柴油的运用等先进生产管理技术来降低农业机械的生产成本。

14.5.2 国内应用现状

近年来，在国家政策的大力扶持下，我国的农机工业取得了长足的发展，也形成了较为完整的农机装备工业体系。特别是国家通过863计划高技术研究、农业适度规模经营装备专项、农业机械技术攻关、现代农业高技术专项等重大项目的实施，加大了对农业机械关键技术和装备研制开发的扶持力度，推动了农业机械部分瓶颈环节技术和技术集成问题的解决。水稻种植和收获两个关键环节的农业机械技术和装备研发取得突破，玉米收获机械技术日臻成熟，保护性耕作技术模式和配套机具研发取得重大进展。一批科技含量高、适应性强、性能稳定可靠的农业机械新技术、新机具得到大面积推广应用。

“十一五”期间，由中国农业机械化科学研究院组织的“多功能农业机械与设施研制”重大项目对农业机械的设计与制造进行了相关研究。由中国农业大学主持的“农业机械数字化设计技术研究”任务，研究解决了农业机械数字化建模关键共性技术、农业机械虚拟设计关键共性技术、大功率轮式拖拉机数字化建模与虚拟样机技术应用、联合收割机关键部件虚拟设计技术应用以及大型喷灌机虚拟试验关键技术等问题，基本建立了覆盖大功率轮式拖拉机、联合收割机、大型喷灌机等典型农业机械的数字化设计技术平台并在龙头企业进行示范应用。

但是，我国的农业机械制造企业与国外相比还比较落后，主要体现在产品设计水平低，制造手段落后，创新意识弱，对于一些先进的生产制造技术和管理模式，只是模仿，没有自己的特点，对于一些世界先进制造技术甚至很少有农机企业涉及，因此先进制造技术在我国农业机械行业充分得到应用发展还任重而道远。

第 15 章　我国农机制造业发展现状与趋势

近年来，在党中央国务院的高度重视下，在强大市场需求的推动和国家强农惠农政策的拉动下，农机工业实现了连续多年的快速发展，产业规模不断扩大，技术进步和自主创新取得新进展，形成了较完整的农业机械工业体系，目前我国已跨入世界农机制造大国行列。但是，我国农业机械产品水平较低，设计、生产技术手段落后，质量不高，生产率低，企业管理技术落后，产业组织化程度低，造成我国农业机械的国际市场竞争力低下，且越来越不能满足市场需求。引进先进制造技术，运用适合我国国情与行业要求的先进的制造技术与管理技术，是目前我国农业机械制造业发展的必经之路。

15.1　农业机械制造业发展现状

1. 农业机械水平不断提高，产品结构不断优化，为农业发展提供了强有力的支撑与保障

新中国成立 60 余年来，特别是改革开放 30 余年来，我国农业机械制造行业不断发展壮大，已形成基本完整的产业体系，成为世界上农业机械生产大国，为“三农”提供了大量的技术装备，为满足我国农业各发展阶段对先进生产手段的基本需求作出了重要贡献。农机企业通过技术改造、技术引进和自主开发，使一批科技含量高的农机产品应运而生，大大缩短了我国农机工业与国外先进水平之间的差距，产品水平进一步提高。例如：大中型拖拉机 2009 年和 2010 年产量均超过 30 万台，117.7 ~ 132.4kW（160 ~ 180 马力）大型拖拉机实现批量生产，220.6kW（300 马力）级大型拖拉机样机面世；小麦生产实现全程机械支撑；适合国情的增产插秧农艺的水稻生产插秧薄弱环节装备技术国产化；自走式玉米联合收获机技术逐步成熟，并批量投放市场。农业机械产业的不断发展壮大，为我国农业发展提供了强有力的支撑与保障。

2. 多元化经营体制已形成，大中型企业初具规模生产能力，而且产业规模快速增长

在计划经济时期，我国农业机械制造企业均是国有或集体所有制。改革开放后，企业改制和对外合资合作方面取得较快的进展，民营企业和三资企业的数量逐年增加，其资产和销售收入占行业总比例逐年提高，初步形成了由国有或国有控股企业、民营企业、三资企业组成的多元企业结构。而且，当前农机工业受益于国家政策鼓励、资金投入、财税优惠等多个方面的扶持，同时随着科研、生产、开发体系进一步的创新和发展，产业规模不断扩大并稳步保持快速发展态势，主要总量指标已经位于世界前列，成为世界农机制造大国。在“十一五”期间，我国主要农机产品均呈快速增长趋势，特别是大中型拖拉机和自走式联合收割机，市场火爆，产销量逐年高速增长。

3. 农业机械关键技术的攻关获得明显进展

“九五”“十五”和“十一五”期间以来，国家通过863计划高技术研究、农业适度规模经营装备专项、“十五”农业机械攻关、现代农业高技术专项、“十一五”多功能农业机械与设施研制等重大项目的实施，加大了对农业机械化关键技术和装备研制开发的扶持力度，推动了农业机械化部分瓶颈环节技术和技术集成问题的解决，尤其是在“十一五”期间取得了一系列科技创新成果。

1）提高了大宗粮食生产机械——联合收割机的性能和可靠性，小麦收获基本实现了机械化。

2）实现了水稻插秧和收获技术与自动控制技术的系统集成，克服了水稻机械作业的瓶颈。同时，针对我国水稻生产机械科技需求，以超级稻为重点，研究适应杂交期特点的育秧、栽植和收获技术。针对跨区收获，研制了联合收割机作业性能检测系统和作业速度智能控制系统；研制了联合收割机驾驶室人机工程试验平台及评价软件等。

3）在农产品加工技术与装备领域，围绕农产品优质、安全、高效和节能降耗加工处理的要求，重点开发了高品质蛋白与油脂联产加工成套技术装备、果蔬绿色干燥与保鲜技术装备、棉花加工成套技术装备。

4）为实现高效快速防治和低污染，开展低量农药喷洒技术和宽幅机动喷雾设备技术研究，针对高效施药技术重点研究了农药循环喷雾技术、防飘喷雾技术和均匀施药技术，开发了射流防飘喷头、恒压防滴阀和精密混药装置等关键基础

部件，形成了小批量生产能力；研制了高效低污染循环喷雾机、大田防飘喷杆喷雾机，小型均匀施药机具等植保机械产品。

5）为早日实现棉花生产全程机械化技术，正攻克采棉机关键技术。

6）在农用动力机械方面，重点完成了节能型小型拖拉机和 132.4kW（180马力）级拖拉机技术提升及产品产业化。

7）农业航化作业作为农业机械化的发展和延伸，新型高效、喷洒药物均匀的农林飞机已研制成功并投放市场。

8）控制和信息技术的应用，为农机产品的升级换代、提高技术性能和可靠性提供前沿技术支撑。

4. 农业机械产品出口增势强劲、贸易顺差创新高

从“十一五”初期开始，农业机械制造业实施了国际化发展战略，产品技术水平明显提高，进出口成效显著。出口方面，出口产品类别增加，出口产品在数量和金额快速增长的同时，出口结构也从以小型产品为主向大、中、小型产品相结合转变，大中型产品所占份额逐步提高；进口方面，近五年来国内市场对高端农业机械产品的需求不断增加，成为国际农业机械市场需求量最大的地区之一，目前进口量大的主要是大型拖拉机及其配套农具、大型联合收割机等。自2004 年起，农业机械制造工业出口总额一直大于进口总额。特别是农业机械制造工业进出口强劲增长的 2008 年，更是用 51.43 亿美元的贸易顺差创造了历史新高。虽然 2009 年受金融危机的影响，当年下滑 22.13%，但 2010 年出现了快速恢复性增长，增速达 29.97%，出口值超过 2008 年。

15.2 农业机械制造业存在的问题

经过几十年的发展，我国农业机械制造业虽已有了较大提高，已经成为农业机械的生产大国，农业机械产品数量大、品种多，但是大多以中小型为主，与欧美国家生产的大型农业机械对比，在动力配备、产品可靠性和技术经济指标上还有相当差距，还不是农业机械制造的强国，农业机械制造业还存在着很多问题。

1. 产品技术水平低，品种结构不能适应我国农业发展的需求

我国农业情况即农村经济水平，决定了我国农业机械制造工业几十年来以发展田间作业机械为主，产品以小型中低端产品为主。近几年随着农业生产的快速发展，农业机械产品结构与农业产业结构调整的不适应性越来越突

出。中小型低端产品产能过剩，恶性竞争现象严重，而很多技术含量和生产效率高的大中型产品，不能生产或没有形成生产能力，还不能满足农业生产需要。

我国生产的多数农业机械产品的主要技术性能、产品可靠性以及产品结构等指标，相当一部分只达到经济发达国家同类产品 20 世纪 70 年代水平，少部分产品达到发达国家 20 世纪 80 年代技术水平，个别产品达到 20 世纪末期国际技术水平。尤其是在智能控制技术的应用方面差距更为明显。

2. 开发、设计、制造技术手段落后，生产效率低，难以与国外产品展开有效竞争

我国农业机械行业几十年来一直采用技术引进、改进创新的发展模式，缺少对各类产品技术的应用机理、设计理论的研究，开发、设计、制造技术手段落后。重大产品开发尚停留在经验设计阶段，新产品开发周期长达 24 ~ 36 个月，比国外先进企业长一倍；新产品技术产业化转化时间长达 3 年以上；产品可靠性考核仍以田间试验为主，产品的可靠性设计技术应用尚属空白，严重制约了产品技术成熟周期，拖拉机、联合收割机平均故障间隔时间（MTBF）仅为国外先进水平的 30% ~40%，难以与国外产品展开有效竞争。发达国家农业机械产业与技术的发展已经满足了农业生产全过程机械化的需要，新一轮农业机械的智能化、信息化以及先进制造技术和产品设计技术的应用，使其产品逐步占据了全球农业机械制造业价值链的高端。技术先进国家的农业机械产业已实现了用现代制造技术改造传统技术、设备现代化、管理信息化，而我国农业机械制造企业的设备新度系数很低，差距甚大，有的第一线生产设备是发达国家 20 世纪五六十年代的产品，甚至一些骨干老企业设备新度系数仅为 0.3 ~ 0.4，远低于其他机械行业 0.6 ~ 0.7 的普遍标准。设备陈旧，产品质量难以控制；制造技术落后，我国农机制造业人均生产效率低。因此，如何采用现代制造技术，加速传统技术改造，已成为农业机械产业能否可持续发展的关键之一。

3. 大企业不强、小企业不专，农业机械产业组织化程度低

农机制造业是规模效益特别显著的产业，但是我国长期以来未能按这一经济规律组织大批量集中生产，低水平重复制造严重，企业组织结构散乱，企业数量多，经营规模小，总体上未能形成一批市场占有率高、国际竞争力强的大型企业和企业集团，未能形成专业化协作强、配套能力高的产业集群，大企业不强、小企业不专现象较为普遍。

4. 基础理论研究薄弱，原始创新匮乏，共性技术供给缺乏，创新主体不突出

由于几十年来一直采用技术引进、跟踪模仿的发展模式，形成了重要的产品和工艺技术来源主要依靠从国外引进的状况，缺少对各类产品技术的应用机理、设计理论的研究，试验数据匮乏，难以掌握产品的核心技术，具有自主知识产权的原创性技术缺乏。与此同时，农业机械技术研究院所转变成为企业以后，其所承担的共性、公益性技术供给职责大大弱化，院所缺乏投入的动力和供给的积极性。在缺乏创新平台支撑的情况下，农业机械的共性、公益性技术研发难以持续有效地开展。农业机械产业的比较效益低下、企业规模小、产业集中度低，缺乏研发的资金投入能力。

5. 技术创新的资源与条件匮乏，技术创新机制不健全

在计划经济体制下集中建设形成的科研条件，在机制的变革过程中，只是修修补补，多数院所现有的试验条件，基本不能满足技术发展的需要。现行农业科研及产业体系下，各类农业机械科技成果产业化项目，大多以各部门、各地区“单兵作战”为主，一方面很难集成高新技术成果，另一方面也往往因为配套资金不足、管理水平不高、市场开拓能力不强等原因，导致投入效益低，造成了新浪费。以“企业为主体、市场为导向”的“新型产学研”机制尚未完全确立，极大制约了企业创新能力的提高。此外，大、中、小企业之间的技术创新生态系统尚未完全形成，不同规模企业之间技术优势互补的科研分工渠道和机制还比较欠缺。

6. 管理技术落后

目前，我国大部分企业依旧停留在过去传统的管理方式上，管理水平落后于技术的发展。而世界各工业发达国家已经或正在采用计算机集成管理手段，按精良生产或准时生产的原则组织和管理生产，进入了现代化管理阶段。

7. 国际市场占有率低

我国农机制造业在改革开放后，才开始进入国际市场。尽管近几年出口增势强劲，但由于对国际市场规则掌握不够，市场调查不深入，外贸人员的匮乏，特别是我国出口的产品中中小型低端产品占有较大的份额，虽然出口数量不少，但附加值较低，使我国农机产品在国际市场上的占有率仍偏低。

15.3 农业机械制造业发展趋势

对农机企业而言，在激烈的竞争条件下，若要满足市场需求、吸引用户，走

高品质、低价位的可持续发展的道路，就必须把握用户的真正需求，开发出热点农机，从而抓住市场的制高点。因此，我国农业机械制造业的发展必须要走符合我国国情和国际装备制造业潮流的道路。

1. 走绿色化产业道路

以“建设节约型社会”的发展战略为导向，走绿色化产业道路，融合高新技术，发展节约型农业机械，力争达到低能耗、零排放的标准。从政策方面讲，发展节能农机，是“十一五”的重点领域。发展节能型拖拉机，注重技术投入、开发新型产品、减少能耗将是企业生存和发展的关键。由于燃油价格的不断提高，用户对节能产品的要求更加迫切。从市场可以看出，用户对节能型的农业机械要求主要体现在两个方面：农业机械达到环保要求和具有节约能源的性能。这一要求将直接主导我国未来的农机发展方向。目前，我国一些企业的节能型农机正逐步推向市场，同时受到用户的高度关注。我国农业机械制造企业将重点发展满足水田机械化、旱地保护作业等方面要求的产品，重点发展节能、节水、节肥和降低农业成本、保护环境、增加产量的农业机械产品，达到与国家政策、市场走向、用户需求、自身发展同步。

2. 向智能化和自动化方向发展

国外农业机械制造企业多年的发展经验表明，采用智能化、自动化的作业方式是农业发展的必然趋势，是发展高效节本农业的有效途径。世界农业发达国家在采用了高度自动化的作业机械后不仅提高了工作效率，降低了作业成本，而且还提高了其农产品在国际市场上数量和价格的相对优势。我国农机业要想在国际上立足，就必须缩小我国与农业发达国家在农业机械方面的差距。这样国外自动化、智能化程度很高的农机装备才不会占领我国市场，也不会使我国农机行业陷入困境。近年来，随着我国改革开放政策的不断深入，我国科学技术方面也取得了突飞猛进的发展，为我国实现农业生产自动化、智能化打下了基础。

农业机械生产企业在研发产品时应使产品和高科技兼容，在农机智能化上下功夫。智能化、自动化程度将提高产品质量。通过优化设计驾驶室、驾驶座、方向动力控制、空调装置等减轻驾驶员的劳动强度，加大操作的舒适性，实现农机系统内按钮操作。同时，应加大控制系统的科技含量，使驾驶员通过仪表装置就可以随时了解农机的生产、安全等技术指标和使用状态，从而使农机产品发挥出最大效能。综合应用信息技术、先进加工工艺于农机产品上，实现计算机及全球卫星定位系统（GPS），地理信息系统（GIS），卫星遥感系统（RS），高精度的

机、电、液（气）一体化等与农机产品的有机结合。目前，我国第一台具有自主知识产权的“基于 GPS 的智能变量播种、施肥、旋耕机”研制成功，已在上海松江泖新农场试用。国内第一台 GPS 收获机已经在福田雷沃重工诞生。

3. 产、学、研、推、管相结合

要想加强农业机械化科技创新能力，就必须加快农业机械化新技术、新机具的研究和开发，突出关键作物关键生产环节，着力解决农机科技创新滞后、技术供给不足问题。坚持引进、消化和自主创新相结合，加强先进适用技术的推广应用。根据农业生产需要和技术发展趋势，逐步减少和淘汰不利于环境保护和可持续发展的落后机具，做到产、学、研、推、管相结合；通过组织实施重大新型农业机械产品和配套机具的开发和生产，充分发挥社会力量，通过市场拉动，引导农机企业加大关键技术和产品研发力度；通过政策扶持、科研开发、示范推广和市场机制，逐步形成可持续的农业机械化科技创新体系和良性循环发展的推广体系。

4. 网络信息化

网络通信技术的迅速发展和普及，给企业的生产和经营活动带来了革命性的变革。产品设计、物料选择、零件制造、市场开拓与产品销售都可以异地或跨越国界进行。通过网络化应用服务中心进行产品及其制造工艺的模拟仿真与优化设计和协同制造，能够大大节省企业的投资并提高生产效率。此外，网络通信技术的快速发展，加速了技术信息的交流，加强了产品开发的合作和经营管理的学习，推动了企业向着既竞争又合作的方向发展。企业应根据自己的实际情况选好突破口，从易到难，循序渐进。在恰当的时机做恰当的事，信息化才能成功。

5. 集成化

集成的作用是将原来独立运行的多个单元系统集成为一个能协调工作的和功能更强的新系统。集成不是简单的连接，是经过统一规划设计，分析原单元系统的作用和相互关系并进行优化重组而实现的。集成化的目的是实现制造企业的功能集成，功能集成要借助现代管理技术、计算机技术、自动化技术和信息技术实现技术集成，同时还要强调人的集成，由于系统中不可能没有人，系统运行的效果与企业经营思想、运行机制、管理模式都与人有关，因此在技术上集成的同时，还应强调管理与人的集成。集成化生产将成为 21 世纪占主导地位的生产方式。

6. 虚拟化

制造过程中的虚拟技术是指面向产品生产过程的模拟和检验，检验产品的可加工性、加工方法和工艺的合理性，以优化产品的制造工艺、保证产品质量、生产周期和最低成本为目标，进行生产过程计划、组织管理、车间调度、供应链及物流设计的建模和仿真，虚拟化的核心是计算机仿真。由于虚拟化制造技术在激烈的市场竞争中显示出了巨大的技术优势，因此目前已为各先进工业国家和公司所极度重视。我国在机械工业部门的主持下，已于 1998 年 9 月在北京召开了第一次“虚拟制造技术研讨会”，以推进虚拟制造技术在我国的研究和应用。虚拟技术的应用及发展将会对未来制造业的发展产生深远影响。

7. 柔性化

随着科学技术的飞速发展和人民生活水平不断提高，促使产品更新换代的速度不断加快，这就要求现代企业必须具备一定的生产柔性来满足市场多变的需要。所谓柔性，是指一个制造系统适应各种生产条件变化的能力，它与系统方案、人员和设备有关。系统方案的柔性是指加工不同零件的自由度。人员柔性是指操作人员能保证加工任务，完成数量和时间要求的适应能力。设备柔性是指机床能在短期内适应新零件的加工能力。柔性制造自动化的形式很多，如美国提出的敏捷制造（AM），其主线就是高柔性生产。上海同济大学张曙教授提出的独立制造岛（AMI）也是高柔性生产模式。

8. 智能化

智能化是面向 21 世纪制造技术的发展趋势之一。智能制造技术（IMT）是将人工智能融入制造过程的各个环节，通过模拟人类专家的智能活动，取代或延伸制造系统中的部分脑力劳动。在制造过程中系统能自动监测其运行状态，在受到外界干扰或内部激励时能自动调整其参数，以达到最佳状态和具备自组织能力。例如机器人加工就是将机床与机器人、传感器、控制器组合而成的智能制造系统，它具有信息处理和知觉反馈、决策能力，可同时控制指挥多种操作，从而能提高效率、保证质量和降低成本。智能化是柔性自动化和集成自动化的新发展和重要组成部分。

15.4 我国农业机械行业应用先进制造技术的必要性分析

随着 21 世纪人口数量的增长和人民生活水平的不断提高，为保证充足的粮食和多样化、高品质的农产品供给，迫切需要提高农业生产水平，这对农业及农

业现代化提出了新的挑战，对农业机械提出了更高要求，也对农业机械制造业提出了更高的发展目标。

15.4.1 市场需求分析

1. 国际市场需求分析

市场的全球化，是我国农机工业发展的重要目标。世界各国农业机械发展的不平衡性，为我国农业机械走向国际化提供了机遇。从近年出口发展态势分析，亚洲、北美和欧洲仍是主要出口市场。其中亚洲是传统出口市场，出口比例近年出现小幅下滑，对北美和欧洲的出口比例缓步提升，而对非洲、拉丁美洲和大洋洲的出口逐步增加将会拉动总量，主要出口市场格局不会发生根本性变化。另外，出口产品的结构将随着国际市场的需求不断地调整。一是出口产品的类别将逐渐增加，并且由当前以小型产品为主向大、中、小型产品相结合转变，大中型产品所占份额将提高；二是出口产品档次也将逐步提高，包括产品的外观、可靠性、质量、售后服务等，我国出口产品必将由低端产品向中高端产品发展。

2. 国内市场需求分析

2011—2015 年是我国农业机械大发展的关键时期，预计农业机械总需求量将持续升高，新技术和新产品开发速度将加快。根据《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》2015 年主要农作物耕种收综合机械化水平达到 55% 以上和农机总动力达到 10 亿 kW，其中灌排机械动力达到 1 亿 kW 的发展目标。通过对农业劳动生产率、农业劳动力比例与农业机械化水平，以及对粮食产量、种植面积的定量与定性分析，国内市场农用总动力将会继续增长。预计在“十二五”期间，大中型拖拉机总需求量达 160 万台左右，平均每年 30 多万台，到 2015 年达到 40 万台左右；小型拖拉机总体基本保持稳定，主要是用于旧机更新换代、不发达地区的新增市场和出口；联合收割机总需求量增加到约 80 万台，平均每年 15 万台以上，其中，专用的自走式玉米联合收获机总拥有量到 2015 年有望超过 8 万台。

15.4.2 产业发展面临的机遇

1. 农业生产方式转型升级为农机发展带来机遇

在工业化、城镇化步伐加快的背景下，我国农业生产集约化水平不断提高，农业形式日趋多样，资本替代劳力趋势明显。随着专业化、规模化、企业化的农

业产业化经营模式的持续推进，农业功能的不断拓展，使专业大户、家庭农场、专业合作社、农业企业逐步成长为现代农业的生产经营主体，现代农业生产方式的转型升级已成为农机发展的重要机遇。

2. 国家政策与法规为农业机械的跨越发展提供保障

近年来，中央把解决“三农”问题作为党和政府工作的重中之重，一系列惠农政策的出台，为推动农业和农村经济社会的发展营造了良好的氛围。国家实施“多予少取”的惠农政策，提高了农民的投资实力，激发了农民购买农业机械的积极性，繁荣了农机市场。中央政府提出的建立健全支农资金稳定增长机制的财政方针，对购置和更新农机具给予适当的补贴，农业税的减免政策以及农机减免税长效政策，间接或直接地增强了农民购置农业机械的实力和农机企业的发展后劲。农机社会化服务组织不断健全和壮大，提供了使用农机的便利条件。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》明确把“多功能农业机械与设施”列为农业重点领域优先主题，并且在其他领域中也明确提出相应的涉及农业机械的重点内容。《装备制造业调整和振兴规划》提出依托国家新增千亿斤粮食工程，大力发展大功率拖拉机及配套农机具等重点农机产品。《国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见》明确指出促进我国农机工业发展的指导思想、基本原则和发展目标，提出促进农机工业发展的主要任务，明确了农机工业发展方向和农机产品的发展重点，规划了农机产业发展布局，具体部署了加大政策扶持力度和加强组织领导等方面的工作。

3. 我国总体上进入“工业反哺农业”的战略转折期

我国总体上已进入以工促农、以城带乡的发展新阶段，我国城乡结构、产业结构、从业结构都将发生重大调整，是农业机械化发展的成长期，也是农机工业结构调整期和发展提升的关键时期。

4. 现代化技术发展，支撑农机制造业技术水平快速提升

适合我国特点的创新技术以及强大而先进的动力、机械、电子、信息、化工等上游产业支撑条件已经成熟，为农机制造业水平的提高提供了近乎完备的基础技术支撑保障。

5. 农业机械国际化步伐加快，提供了广阔的市场

继续坚持开放的战略，农业机械国际交流合作和国际贸易将不断扩大，与世界农机工业发展的相互联系和影响也会日益加深，国际、国内两个市场、两种资源相互补充，我国农业机械走向世界的步伐也将日益加快，出口产品结构将不断

升级，市场将逐年扩大，市场份额将快速增长，从而推动我国农机制造业的发展与升级。

15.4.3 产业发展面临的挑战

未来几年，农机产品类别的多元化发展和产品更新换代速度的加快，对农机产品功能、性能、质量和关键零部件产业的发展提出了更高要求。随着新技术、新产品的开发和产业化所需的技术和资金门槛越来越高，投资风险在不断增大。农机产业链垂直整合和企业横向整合趋势将更加明显，产业集中度将不断提高。同时，跨国公司在加快低附加值产业对外转移的同时，牢牢控制着高端零部件和关键技术等产业链核心环节，关键技术受制于人的局面短期内将难以改变。这一切使国内企业面临严峻挑战。

无论是国际市场和国内市场的需求，还是我国农业机械制造产业发展面临的机遇和挑战，都对我国农业机械的技术水平、数量和质量都提出了更高的要求，而目前我国农业机械制造企业的发展水平并不能满足市场需求，因此引进先进制造技术，运用先进的制造技术和先进的管理技术，已显得迫在眉睫。

第 16 章　我国农机先进制造技术产业发展战略

16.1　发展思路

战略性新兴产业是引导未来经济社会发展的重要力量。发展战略性新兴产业已成为世界主要国家抢占新一轮经济和科技发展制高点的重大战略。我国正处在全面建设小康社会的关键时期，必须按照科学发展观的要求，抓住机遇，明确方向，突出重点，加快培育和发展战略性新兴产业。装备制造业是国民经济的主要支柱。我国是世界制造大国，但还不是制造强国；制造技术基础薄弱，创新能力不强；产品以低端为主；制造过程资源、能源消耗较大，污染严重。这些问题在农业机械方面表现得尤为突出。

当前，我国农业机械生产企业必须积极主动参与国际竞争，这是农业机械制造企业生存和发展的关键，而农业机械企业的有序竞争和良性发展也是国内农业机械工业生存发展所面临的严肃课题。为了能在新形势、新情况下最大程度地创造经济效益，提升我国企业的整体水平，必须大力发展农业机械先进制造技术，提升产业竞争力。依据《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》，“到 2020 年，我国科学技术发展的总体目标是：自主创新能力显著增强，科技促进经济社会发展和保障国家安全的能力显著增强，为全面建设小康社会提供强有力的支撑；基础科学和前沿技术研究综合实力显著增强，取得一批在世界具有重大影响的科学技术成果，进入创新型国家行列，为在本世纪中叶成为世界科技强国奠定基础”“在我国科学技术的若干重要方面实现以下目标：一是掌握一批事关国家竞争力的装备制造业和信息产业核心技术，制造业和信息产业技术水平进入世界先进行列的目标。二是农业科技整体实力进入世界前列，促进农业综合生产能力的提高，有效保障国家食物安全”。

为实现这些目标，对农业机械企业提出了目前阶段具体的发展任务：开发灌溉节水、旱作节水与生物节水综合配套技术，重点突破精量灌溉技术、智能化农

业用水管理技术及设备等综合节水任务；规模化制种、繁育技术和种子综合加工技术等种业装备；安全优质高效饲料和规模化健康养殖技术及设施、高效安全型兽药器械、近海滩涂与浅海水域养殖和淡水养殖技术装备、远洋渔业和海上储藏加工技术与设备等畜禽水产健康养殖与疫病防控装备；主要农产品和农林特产资源精深及清洁生态型加工技术与设备、粮油产后减损及绿色储运技术与设施、鲜活农产品保鲜与物流配送及相应的冷链运输系统等农产品精深加工与现代储运装备；高效、低成本、大规模农林生物质收集，沼气、固化与液化燃料等生物质能以及生物基新材料和化工产品等的生产，农村垃圾和污水资源化利用等农林生物质综合开发利用装备；环保型肥料和农药及施用、水土流失和退化草场功能恢复为主的生态农业装备；适合我国农业特点的多功能作业、经济型农林动力机械，定位变量作业智能机械和健康养殖、保护性耕作、温室设施等多功能农业装备与设施；动植物生长和生态环境信息数字化采集、精准作业和管理、农村远程数字化与可视化信息服务、农林生态系统监测等农业与农村信息化技术装备；奶牛专用饲料、牧草种植与高效利用、疾病防治及规模化饲养管理、奶制品深加工等现代奶业技术与设备。

到 2015 年，先进制造业形成健康发展、协调推进的基本格局，对农业机械产业结构升级的推动作用显著增强。绿色环保、高端装备制造产业成为国民经济的支柱产业，数字化、智能化、绿色化、柔性化、全球化成为先进制造业的显著特征，农业机械先进制造业创新能力大幅提升，掌握一批关键核心技术，在局部领域达到世界领先水平。形成一批具有国际影响力的大企业和一批创新活力旺盛的中小企业集群。建成一批产业链完善、创新能力强、特色鲜明的战略性新兴产业集聚区。再经过十年左右的努力，农业机械先进制造业的整体创新能力和产业发展水平达到世界先进水平，为经济社会可持续发展提供强有力的支撑。突破农业机械数字化制造共性技术，实现典型农业机械关键零部件的数字化制造与装配；突破农业机械绿色制造关键技术，构建典型农业机械关键零部件绿色设计制造平台；开展典型农业机械先进制造技术示范应用，全面提升我国农业机械制造业自主创新能力和研发水平。结合我国农业机械装备制造技术发展现状，提出如下发展思路：

1. 调整农业机械制造业产业结构，促进产业结构升级

农业机械产业组织结构调整的总体思路是：建立纵向延伸，横向联接的产业发展模式。首先，要积极整合农业机械制造业的优势资源，发展壮大核心和配套的产业集群，促进产业链的纵向延伸，使产业纵向分工进一步细化、深化和专业

化发展。其次，随着农业机械制造业主导产业链条的延长及其规模的扩张而促成关联产业和支援产业的发展。把握核心技术的内在关联（如工艺的衔接、技术同源以及技术的创新交叉）和相似性，推动农业机械制造企业和相关产业的进一步集聚，催生出更多共性的制造技术。促进大型农业机械制造企业的形成，扶持中、小农业机械制造企业的专业化发展，打造特色农业机械制造产业集群。以企业为主体，尊重市场经济规律，政府实行重点扶持政策，加快农业机械制造企业间的兼并与联合，培育和发展大型装备制造企业和企业集团。构建产业内适度集中，企业间充分竞争，大企业主导，大中小企业共生发展的产业组织结构，培育和增强我国农业装备制造产业的国际竞争力。鼓励和促进中小农业机械制造企业的专业化分工，鼓励生产“精、特、优”产品及配件，支持中小农业机械制造企业向“小而专、小而精、小而优”方向发展。帮助为大企业生产零部件的中小企业建立同大企业联系的信息通信网络，降低交易成本，最终形成“大企业主导、以大带小、以小保大、大中小共生”的产业集群网络，推进结构调整，使产业组织体系分工合理，协调发展。加快农业机械先进制造产业流通管理体系的建设，对农业机械整机和零部件生产企业及其产品实施现代化管理。推动农业机械产业结构调整和重组，逐步形成布局合理、适合国情、产业集中度高的新格局，实现产业结构优化升级。

2. 广泛采用先进制造技术，提升产业技术装备水平

坚持改革开放，贯彻落实科学发展观，走新型工业化道路，实施可持续发展战略。从现代农业和社会主义新农村建设对农业机械的需求出发，围绕产品和行业结构调整、经济增长方式转变、产业升级和可持续发展，加快推进先进制造技术在市场急需的农业机械产品研究开发和产能建设中的应用，促进农业机械产业升级和振兴。到 2020 年，成为世界上重要的农业机械制造和供应大国，步入世界农业机械产业强国行列。以促进企业技术创新为突破口，通过技术攻关，基本实现高档数控机床、工作母机、重大成套技术装备、关键材料与关键零部件以及高端农业机械的自主设计制造和应用。加快高速精密复合数控金属切削机床、重型数控金属切削机床、数控特种加工机床、大型数控成形冲压设备、重型锻压设备、清洁高效铸造设备、新型焊接设备与自动化生产设备、大型清洁热处理与表面处理设备等主要核心技术的掌握和应用。并通过应用，对农业机械企业进行技术改造，改善企业研发和制造条件，提高农业机械制造工艺及工装水平，大力提升农业机械产品质量。初步形成集科研开发、主机制造、关键件制造、成套装备

供应、技术服务等为一体的产业体系。提供的产品能够基本满足保障我国农业生产安全的战略和农业现代化的需要，成为世界农业机械制造大国和强国。

3. 开展科技创新，积极推广新技术

增强技术创新能力，形成以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系；培育高素质的人才队伍，研发具有自主知识产权的先进工艺、技术、装备及产品，形成一批核心技术，满足农业机械生产制造的需求。要建成协调有效的农业机械自主创新平台，在大型农业动力和作业装备领域实现重点关键技术和共性技术的重大突破，推进新产品开发。形成若干具有自主知识产权的产品和技术。行业技术创新能力显著增强，开发的新产品达到同期国际先进水平。

创新是农业机械现代装备制造技术水平提高的关键，也是填补我国农业作业领域装备空白的举措。未来农业机械创新的特点：一是加强技术创新，要结合农业结构调整，加快农业机械新技术、新机具的研究与开发；二是加强机制创新，要进一步深化农业机械科技体制改革，充分发挥农业机械科研院校、大型农业机械企业的积极作用，优化农业机械科技资源配置；三是加强农业机械现代装备制造技术的推广应用，要重点推广“数字化”“网络化”“智能化”“绿色化”“全球化”等先进的现代生产装备制造技术。

4. 树立生态环境理念，提升农业机械产业绿色竞争力

对于目前世界资源紧张、环境恶化的现状以及人类的持续发展的要求来讲，绿色制造是必然的趋势。通过绿色生产过程、绿色设计、绿色材料、绿色设备、绿色工艺、绿色包装、绿色管理等生产出绿色产品，产品使用完以后再通过绿色处理后加以回收利用。绿色制造能最大限度地减少制造对环境的负面影响，同时使原材料和能源的利用效率达到最高。要加快绿色技术在农业机械材料与产品开发设计、加工制造、销售服务及回收利用等产品全生命周期中的应用，形成高效、节能、环保和可循环的新型制造工艺，使我国的农业机械制造业的资源消耗、环境负荷水平进入国际先进行列。

5. 积极开展国际合作

引进国外先进技术，鼓励大型农业机械企业与国外合作开发和建立技术研究中心，提升核心技术、关键部件的研究开发能力。进一步扩大国际合作，提升大功率拖拉机、多功能收割机、现代农业机具、农用飞机等先进农业机械的制造技术水平，逐步降低高端产品对进口的依赖程度。在保障产业安全的前提下，通过与国外企业合资、合作生产等方式，积极引进国外先进技术，通过引进、消化、

吸收、再创新，提升制造技术水平；吸引海外科技人才加入我国农业机械行业，加快动力机械、配套机具研发制造人才的引进，增加技术储备，培养一批具有创新能力的人才和团队，提高农业机械产品开发、制造和管理水平；实施农业机械装备“走出去”战略，大力开拓国际市场，鼓励企业参与对外援助和国际合作项目，扩大优势农业机械产品出口，引导有条件的农业机械制造企业到国外投资办厂。

16.2 重点发展领域

我国农业机械水平相对落后，其深层次的原因是整个农业机械制造技术水平的相对落后，正是传统的制造加工技术制约了我国农机产品的技术提升，同时也限制了我国农机制造业走出国门与世界接轨。所以，要实现农业机械化，发展高效的现代农业，就必须要实现农机制造由传统技术向先进制造技术的转变，实现农机制造技术的现代化。农业机械先进制造技术重点发展领域应包括：农业机械数字化设计技术、农业机械数字化制造技术、农业机械新型材料、农业机械先进制造流程管理技术、农业机械先进制造物流技术以及农业机械先进制造自动生产线技术。

1. 农业机械数字化设计技术

针对农业机械产品结构复杂、设计困难、零部件多的情况，传统的设计方法已经完全不能满足现代农机的发展要求，必须重点发展农业机械数字化设计技术。重点研究数字化设计集成技术，包括数字化设计、数字化工艺规划、数字化装配、产品的性能仿真分析及多学科优化设计等；复杂产品数字化设计方法学，面向服务的设计方法与技术，基于配置的产品快速设计方法；多领域知识驱动的产品创新技术；设计知识发现、共享和重用技术；多学科设计优化中的可视化技术；建立拖拉机、联合收获机械、播种机械等若干产品的数字化和智能化设计制造平台。

2. 农业机械数字化制造技术

我国农业机械行业在产品制造方面缺少对各类产品先进制造技术的方法研究，绝大部分农机制造企业还没有更多地掌握先进制造技术，大多数农业机械生产企业设备老化且工艺落后，一些生产一线的制造设备甚至是发达国家 20 世纪五六十年代的产品，一些先进的制造系统，如网络化制造系统、精益生产系统、虚拟制造系统、智能制造系统、绿色制造系统和柔性制造系统等，在企业中很少

能够得以应用，先进制造技术的研究和应用比较落后。因此，必须大力发展农业机械数字化制造技术。在基础研究方面，重点研究绿色制造基础理论与共性技术、智能制造技术，包括绿色制造基础理论、产品寿命预测与安全服役基础理论、主动可靠性设计理论、智能装备产品创新设计理论、精密与超精密加工技术等；在制造技术前沿研究方面，重点研究绿色制造基础数据库与标准、绿色生产工艺关键技术与装备、制造过程碳效优化技术、产品寿命预测与安全服役关键技术，微纳米制造技术与应用等。

3. 农业机械新型材料

低碳经济时代的来临，对环境保护和资源节约提出了更高的要求。我国的制造业不仅要解决自身生产过程中的污染和资源浪费问题，更重要的是要为社会提供全寿命周期内没有污染、节约资源的各类产品及环保装备。因此，农业机械在制造过程中必须加大对新型材料的研发。农业机械新型材料技术重点研究：材料的环境友好性、可再生循环性、制备使用全过程的节能减排特性，积极发展先进结构材料和复合材料、功能材料，积极发展电子信息材料、器件和系统技术；发展制造业材料的绿色化、智能化，实现制造系统智能运行，形成先进材料和绿色、智能、网络制造及服务体系，保障先进材料和先进装备的有效供给和高效清洁循环利用，为加快建设资源节约型、环境友好型社会提供有力支持。

4. 农业机械先进制造流程管理技术

现代农业机械制造企业的主要问题是流程过长、决策慢，资源利用率不高，甚至存在浪费现象，多种产品在同一管理模式下存在着冲突等，这些问题都是由企业在计划经济体制下形成的组织机构所带来的。因此，必须大力发展农业机械先进流程管理技术。农业机械先进流程管理技术重点研究：数字化流程管理技术，包括企业资源计划、物料需求计划、制造资源计划；网络化流程管理，包括数据仓库、管理信息系统、决策支持系统、专家系统、电子信息交换等；智能化流程管理；绿色化流程管理，包括绿色制造工艺、绿色流程再造等。开发绿色流程制造技术，高效清洁并充分利用资源的工艺、流程和设备，相应的工艺流程放大技术，基于生态工业概念的系统集成和自动化技术，流程工业需要的传感器、智能化检测控制技术装备和调控系统。

5. 农业机械先进制造物流技术

我国农业机械制造企业在分布范围上比较分散，生产规模小，竞争力弱，在产品的运输、仓储、包装、装卸和搬运、流通加工、配送和物流信息等方面比较

落后，不能满足现代农机企业全球化的要求。因此，必须大力发展农业机械制造先进制造物流技术。农业机械先进制造物流技术重点研究数字化物流技术、自动化物流技术、虚拟物流技术等，主要包括：集装箱多式联运技术、自动化立体仓库技术、先进包装技术、集装化装卸搬运技术、自动导引搬运技术、配送技术、物流信息技术以及物流管理技术等。

6. 农业机械先进制造自动生产线技术

农业机械技术集成度高、结构复杂、市场竞争激烈，农业机械先进制造自动生产线技术主要研究以拖拉机、联合收获机为主的自动化生产线等先进制造关键技术，研究集成大型农机装备先进制造与自动化生产成套技术，形成拖拉机、联合收获机械主要关键部件的柔性制造生产线。

16.3 政策建议

为了贯彻科学发展观，发展现代农业，提高我国农业机械化水平，推进农业机械产业结构调整和升级，全面提升我国农业机械产业的国际竞争力，满足我国农业生产、现代农业建设对农业机械日益增长的需要，促进农业机械产业又好又快发展，需制定农业机械产业发展政策。通过该政策的实施，更好地发挥我国农业机械产业在保障国家粮食安全、推动农业可持续发展、促进农民致富，以及在社会主义新农村建设中的重大作用，保持国民经济健康稳定发展。

1. 技术研究支持政策

1）坚持自主开发为主、引进技术为辅的原则，发展具有自主知识产权、具备区域性的先进农业机械制造技术。引进技术和产品根据国内市场需求，要具有国际竞争力、发展前瞻性，并满足国际农业机械技术规范的强制性要求；自主开发技术要适应我国国情，力争与国际技术接轨，参与国际竞争；国家在税收政策上对符合技术政策的研发活动给予支持。

2）国家要引导和鼓励农业机械装备企业进行产业结构调整，大力采用先进制造技术工艺和装备。积极发展以信息化技术为先导的数字化、自动化与智能化技术，提高传统农业机械技术的研发水平，推进农业机械生产装备制造技术的整体提升。

3）以“重点突破、增加品种、优化结构、拓展领域”为主要任务，优先支持研究粮油作物全程作业装备技术，保障国家粮油安全，提高综合生产能力；重点发展经济作物、农产品加工、健康养殖、生物质综合利用等装备技术，推进农

业和农村经济结构战略性调整；持续支持研究节能减排、降耗、资源节约与高效利用技术，为农业资源的高效安全利用和节本增效提供装备技术支撑；加快研究以信息化技术为先导的自动化、智能化和可靠性技术，提升农业机械产业竞争力。

4）积极推进新型材料的应用。加强农业机械特殊型材、耐磨材料、表面工程技术等的研究。加强新型金属结构材料、新型非金属材料和新型复合材料技术，以及功能性、智能化、仿生等复合材料在农业机械领域的应用。

5）建立正常的淘汰机制，淘汰技术落后的生产工艺装备。实施鼓励采用先进制造技术、限制淘汰落后生产技术的发展政策，引领产品开发和发展方向。

6）国家制订先进装备制造技术发展规划。根据国家的发展战略和市场发展需要，在每个五年计划实施的前期，有关部门要制订农业机械先进制造技术的发展规划，确定发展的方向和重点。

7）国家支持加强农业机械先进制造能力建设。在稳定支持已成立的国家级技术中心、重点实验室以及大学和产业领域科研院所产品开发的基础上，加大对农业机械大型企业产品制造能力建设的支持。在国家购机补贴等政策性支持计划中，鼓励新产品的应用。在国家重点新产品计划中加大资金的扶持力度，选择重大产品重点支持。

8）构建农业机械产品先进制造技术开发平台。以国家技术研究中心、重点实验室、企业技术中心为基础，通过支持产业技术创新战略联盟，整合有效资源建立新型产品先进制造技术开发平台，以企业为主体实现产品制造技术研究、人才培养、新产品制造与试验推广相结合的产品开发新机制。

9）优先支持重点产品开发，加大先进制造技术在产品开发中的应用。优先发展大功率拖拉机及其配套机具、多功能联合收割机等粮油作物全程作业装备、农产品精深加工成套装备、经济作物和牧草生产装备、资源节约环境友好型农业机械等。加大对农业机械数字化、绿色化、智能化技术研究的支持力度，提高国产装备产品的技术水平和档次。

2. 行业产业发展政策

1）推动农业机械产业结构调整和重组，通过产业布局以及产品结构、企业结构的调整，逐步形成布局合理、适合国情、产业集中度较高的新格局，产品满足国内农业发展需求，实现产业结构的优化升级。

2）国家鼓励农业机械企业向集团化方向发展，建立具有国际竞争力的综合

性大企业，形成新的竞争格局。在市场竞争和宏观调控相结合的基础上，通过企业间的战略重组，实现农业机械产业结构优化和升级。

3）完善产业组织结构，改变农业机械企业数量多、规模小、布局分散的局面，形成大型企业突出、中小企业比例合理的产业组织结构。

4）支持国内企业通过兼并、联合、重组和扩建等形式，通过市场竞争形成5家左右具有先进制造水平的农业机械制造企业，进入全国工业500强，成为全球农业机械工业50强企业，形成跨地区、跨部门、跨所有制、具有国际竞争力的大型农业机械企业集团。

5）支持中小型农业机械企业向“专、精、特、新”的方向发展，形成具有技术和市场优势的产品和配套装备。培育一批具有比较优势的零部件企业实现规模生产，并进入国际农业机械零部件采购体系，积极参与国际竞争。

6）建立大中功率拖拉机和联合收割机等重要农业机械产品生产企业准入和退出机制，对不能维持正常生产经营的生产企业实行特别公示，涉及的企业必须退出生产，不得转让生产资格。

7）国家鼓励零配件制造采用新材料、新加工工艺等先进制造技术，达到节材、节能、绿色高效的目的。

8）农业机械零部件企业要适应国际产业发展趋势，积极参与主机厂的产品开发工作。关键零部件领域要逐步形成系统开发能力，在一般零部件领域要形成先进的产品开发和制造能力，满足国内外市场的需要，努力进入国际农业机械零部件采购体系。

9）制订重大农业机械产品关键零部件先进制造工艺流程专项发展规划，对关键零部件产品进行分类指导和支持，引导社会资金投入，促使有比较优势的零部件企业形成专业化、大批量生产和供货能力。对能为多个独立的农业机械产品生产企业配套，并且进入国际采购体系的零部件生产企业，国家在技术引进、技术改造、融资以及兼并重组等方面予以优先扶持。

10）扶持农业机械产品关键零部件专业化开发。注重关键、通用零部件产品的技术开发，鼓励扶持具备专、精、特优势的农业机械零部件的开发和制造，形成生产能力。国家在相关项目计划、产业化能力建设和改造上，加大对关键零部件开发的支持力度，形成与大企业互补的社会化生产产业集群。

3. 行业发展资金管理政策

1）为了避免低水平建设、重复建设，确保建设项目的技术水平和规模效

应，国家鼓励农业机械企业通过新增投资、改建、扩建和技术改造等方式扩大产业政策鼓励发展的先进制造技术。

2）国家鼓励农业机械企业利用多种渠道筹集发展资金。鼓励民间资本和外资向符合产业政策的农业机械企业投资，推进农业机械装备先进制造技术水平的提高。

3）国家鼓励符合产业政策并具备条件的农业机械骨干企业通过公开发行股票和发行企业债券等方式筹集资金。国内金融机构特别是政策性银行应优先给予大型农业机械骨干企业建设项目融资支持。

4）国家鼓励有技术、管理优势和资金优势的大型企业或企业集团兼并、收购和重组农业机具及配件制造企业。鼓励其向具备农业机械工业发展条件的地区投资，按照国家统一规划，发展中高端农业机械生产。国外产业资本、金融资本对国内农业机械骨干企业的股权收购，构成绝对控股、相对控股、实际控制的，收购协议须经国家投资主管部门批准后方可生效。

5）新建农业机械项目，企业自有资金比例必须达到40%以上。对符合产业政策和规划的项目，银行根据独立审贷原则，应积极提供支持，并可适当延长贷款期限或在国家规定的幅度内降低贷款利息率。对不符合产业政策的发展规划及市场准入条件的项目，银行不得提供信贷支持。

6）国家通过加大对技改项目的贴息贷款支持力度鼓励农业机械生产企业增加品种、质量升级、节能降耗、环境保护等方面的技术改造。

7）加强投资监管，对于违规项目，撤销项目法人投资项目的资格，并追究相关当事人的行政责任。

8）对于不符合产业政策或国家明令限制、淘汰的新建项目，国土资源部门不予办理土地使用手续，工商管理部门不予登记，商务管理部门不批准合同和章程，金融机构不提供贷款和其他形式的授信支持，海关不予办理免税进口设备手续，质检部门不予颁发生产许可证，环保部门不予审批项目环境影响评价文件和不予发放排污许可证。

4. 财政税收支持政策

1）为切实落实国家税收政策对农业机械工业的支持，除农业机械企业增值税继续执行13%的税率外，销项额大于进项额的留抵额实行当年退还企业办法。

2）对符合产业政策的农业机械生产企业按20%的优惠税率征收企业所得税；符合国家高新技术企业条件的，按15%的优惠税率征收企业所得税。

3）中央财政研究整合现有资金渠道，加大对农业机械工业技术创新能力建设、科技成果产业化、技术和智力引进的引导和扶持力度；国家现有技术改造投资要对农业机械工业先进制造装备技术改造给予倾斜和重点扶持；鼓励和支持农业机械企业消化吸收国内急需的农业机械先进制造技术。地方政府可根据中央的资金，按照一定比例配套实施。中小型农业机械企业享受国家扶持中小企业发展的相关政策。创新型企业试点向农业机械制造企业倾斜。

4）国家鼓励列入重点发展先进制装备技术目录的企业加大自主知识产权的创新，凡此类企业用于科学研究和试验设计的费用，可以视为日常生产费用，在税前扣除。

5）国家允许符合产业政策的农业机械企业为解决技术开发和创新的资金需求及减少投资风险，按主营业务收入的3%在税前提留技术开发准备金，在以后三年内用于技术开发投入。但必须在三年内使用，三年到期时未使用的资金，要计入企业所得纳税，并加收该税金按当时年利率计算的利息。

6）国家鼓励符合产业政策的农业机械企业联合成立科研开发组织。成员企业交纳给联合开发组织的预算款项可以在应税所得中扣除。

7）国家支持农业机械生产企业努力提高农业机械产品本地化生产能力，带动农业机械零部件企业技术进步，推进农业机械先进制造技术的发展。

8）国内能够生产的、技术性能、产品质量、产品价格与国外相近的农业机械，原则上不批准进口或进口不予免税。

5. 其他

1）农业机械制造业的行业组织、社会团体等机构要加强自身建设，增强服务意识，努力发挥作用；要积极参与国际间相关业界的交流活动，在政府与企业间充分发挥桥梁和纽带作用，促进农业机械先进制造技术产业的发展。

2）加强制造技术标准建设，在农业机械产业生产企业中尝试推行国家强制性制造技术标准，加快推进先进制造技术在农业机械产业中的普及和应用。

第 4 篇

国际化发展

第 17 章　我国农机产业的国际化

农业机械作为农业先进生产力的代表，是推动传统农业向现代农业转变的关键要素，它改变了农业生产环境和条件，突破了人、畜力所不能承担的规模、效率的限制，适应现代农艺发展要求，从而显著提高农业综合生产能力。“农业的根本出路在于机械化”这一著名论断，深刻揭示了农业发展的本质规律，它强调了在农业现代化发展过程中，装备作为劳动工具的决定性意义。

从我国发展来看，一方面，作为发展中的农业大国，以粮食为主的农产品生产安全问题始终是治国安邦的头等大事。农业机械技术进步和产业发展，为保障我国农业丰收，实现连续九年粮食增产作出了积极贡献。而随着人民生活水平的不断提高，消费者对食物的需求，已从吃得饱，向吃得好、吃得营养、吃得健康转变，农业生产在注重质量安全与提高农业效益和保护消费者健康方面的科技需求日益迫切，必须不断提高农业机械科技水平，加快转变农业发展方式。另一方面，随着国家统筹工业化、城镇化、信息化和农业现代化发展，农村土地流转和劳动力加快转移，农业规模化进程加速推进，必须依靠农业机械产业科技发展，为农业劳动力转移提供条件，这预示着我国农业机械进入了新一轮快速发展的机遇期。

从国际发展来看，发达国家的农业机械经过两个多世纪的发展，不仅品种齐全，而且质量精良，不断融合现代液压、仪器与控制、现代微电子和信息等高新技术，并向着大型化、高效率、多功能、复式联合作业、信息化、智能化方向快速发展，广泛采用先进设计制造手段，并注重节能与环保。农业生产的不同品种和各个环节实现了机械作业代替人工，极大提高了农业综合竞争力。在新一轮国际分工的格局下，发达国家凭借技术领先优势和成熟发展经验，从输出产品到对外直接投资，在更大的范围内配置资源，占领国际市场和全球分工效益。

随着世界经济技术一体化趋势愈演愈烈，科技与产业、经济与金融的关联性更加紧密，国际化发展进程加快，融入国际分工体系，全面参与国际竞争是任何经济实体不可避免的，也是我国农业机械产业科技创新发展的必由之路。

1. 国际化发展是统筹全球资源，促进农机装备产业升级、结构调整的必然选择

我国农业机械起步较晚，20 世纪 50 年代由全盘引进、改型改用开始，逐步依据国内农业和农村发展状况，达到了再创新，形成了较为完备的农业机械制造业产业体系。进入 21 世纪，尤其是现在国家统筹工业化、城镇化、信息化和农业现代化发展，农村土地经营权流转集中，农业规模化经营、标准化生产，农业和农村生态环境保护与可持续发展对农业机械产业发展提出了新的方向；全球经济一体化深入发展，国际分工进一步细化，跨国企业布局全球，在人才、技术、资金、市场、自然资源方面也逐步走向全球配置，尤其是自 2008 年爆发全球性金融危机以来，发达国家的农机市场急剧萎缩，跨国农机企业进一步加快了开拓我国农机市场的步伐，挤压了我国企业发展空间，使得本就竞争激烈的我国农机市场更加白热化，国内企业即便不走出国门，在国内市场上依然要面对残酷的国际竞争。“百舸争流，不进则退”，加快农业机械行业国际化发展，积极参与国际竞争已是我国农机装备制造企业惟一的选择。

国际化发展有利于我国农业机械制造企业直接参与全球性资源和技术的分配，可以更好地利用国内、国际两个市场，从全球范围出发，通过跨国兼并收购、直接建立国外研究与开发机构以及建立国际技术联盟、知识联盟等形式，将技术创新活动扩展到国外，获得国外资源支持，结合自身技术优势和国外实际需求，针对特定区域生产输出具有国际竞争力的新产品、新技术，有利于优势技术和产品在国际化分工的背景下加入市场竞争，参与更大范围的国际竞争。

国际化发展有利于我国农业机械制造产业按照高新技术产品的最新动态和市场行情，提高重点产业技术的创新能力，有利于我国农业机械制造企业根据市场变化，及时调整产业发展策略和产品研发方向，掌控产品竞争主动权。如国产采棉机的研制和推广，就是密切跟踪国际最先进技术，结合我国新疆棉区种植农艺，通过国内科研单位、制造企业、使用单位联合研发的成功典范。目前，机采棉系列配套技术日臻完善，随着国产采棉机稳定批量生产、推广应用和及时的售后服务，国产采棉机在新疆基本上能与凯斯纽荷兰和约翰迪尔公司的进口采棉机“三分天下”，成为国内屈指可数的占据主导市场的高端机型。

2. 国际化发展是农机企业布局全球产业市场，获得持续创新发展的共同选择

进入21世纪以来，我国社会经济持续稳定快速发展，农村内需市场强力拉动，国家强农惠农政策有效实施，我国农业机械持续保持产销两旺的态势，国外农机企业纷纷抢滩我国市场。跨国企业国际化的发展进程，通过全产业链环节的创新，逐步把国际资源转化为现实的市场竞争力。如跨国农机企业进入我国的进程，就是先通过卖产品进入适应的市场，再选择国内最具实力和具有多年知名品牌的企业转让实用技术融入市场，然后与地方优势企业合资，充分利用本土企业生产制造、品牌、市场网络等资源站稳我国市场，最终全面收购我国知名品牌进行独资经营，全面占领市场，再伺机建立本土化研发中心、加快实施本土化战略，进一步巩固和拓展市场等。世界第一的农机巨头约翰迪尔公司以其纵向一体化模式，推进在我国的技术、制造、产品、市场、品牌本土化发展，从1978年进入我国，先后以合资、收购、独资等形式，已经组建了约翰迪尔佳联、约翰迪尔天拖、约翰迪尔宁波奔野三家生产企业和一家技术中心，由主要开展收获机和拖拉机业务，逐步向农机具、水资源利用等领域全方位拓展。凯斯纽荷兰分别于1996年和1997年在北京和哈尔滨设立了办事处，1999年投资建立了全资子公司哈尔滨纽荷兰拖拉机有限公司，并于2002年控股60%合资成立了上海纽荷兰农业机械有限公司，目前又在哈南工业新城以哈尔滨本地公司为主体投资兴建了农机生产线。世界第三大农机巨头爱科以横向一体化发展模式，推进在我国制造占领市场的进程，于2003年年底成功收购芬兰维美德拖拉机有限公司后，维美德北京代表处更名为爱科集团北京代表处，为适应新形势发展需要，加速抢占我国市场，爱科于2009年和2010年分别在江苏常州和黑龙江大庆独资建生产基地，2011年又收购了山东大丰80%的股权。除此以外，印度马恒达也在中国建有两个工厂，日本久保田、洋马、井关、筑水等企业在江苏均建有生产基地，韩国的国际、大同在安徽建厂，另外乐星、马斯奇奥、雷肯均已经或计划在山东建立生产厂。外资进入我国农业机械领域的方式发生了根本性变化，由推出单一产品到推出全套产品以及加工制造的全过程，从占领我国市场拓展到全产业链，从外资进入到控制龙头企业择优并购，利用资金、市场地位快速获得资源要素。

3. 国际化发展是提升我国农机装备制造业核心竞争力，拓展国际发展空间的必经之路

国内外技术转移国际化实践为我国农业机械技术创新国际化提供了很好的借

鉴经验，证明了如果发展中国家通过正确的国际化发展战略、引智与自身努力结合完全可以实现技术国际化。目前，农业机械产业也是我国承接国际产业转移的行业，国际上各大著名品牌的农机制造商纷纷来华创建合资企业优先确立市场优势，争夺市场份额，这在客观上必然会促进我国农业机械产业技术的引进和发展，促进企业自主研发水平有很大的提高。为了积极应对国际化挑战，进一步巩固和拓展发展空间，近年来，国内农业机械企业也纷纷加快了国际化发展步伐，如福田雷沃重工已在全球范围内建立了300多家营销服务渠道，基本形成了覆盖全球目标市场“销售、服务、配件供应、用户培训与信息反馈”五位一体的全球营销网络，探索以市场为先导、全球化采购，以品牌凝聚战略走出国际化模式；常州东风农机集团大力拓展海外市场，强势发展外销网络，采用与经销商、代理商合作的方式，产品自营出口占92%，其中42%登陆欧美等主流市场，2010年东风农机投资在德国成立了东风欧洲公司，以借助国际资源，实现国外研发本土化，加快提升企业整体设计制造水平和产品竞争力；中国一拖集团通过“以我为主、两头在外”的国际联合研发模式，成功掌握了具有自主知识产权的大轮拖拉机核心技术并实现了量产，甚至批量出口，2011年成功收购了法国麦考密克（McCormick）公司，成为新中国成立后我国农机工业首次以收购世界级农机企业，实现科技资源国际化的实际行动。中国农业机械化科学研究院与美国联合建立研发中心，同时与加拿大、巴西等开展国际前沿技术合作，还在非洲等地建立集优良品种、机械化种植的示范农场，实现了以科技为先导、成熟技术集成化向非洲、东南亚等地区输出的有效尝试。

但与国际农机巨头在国内布局相比，国内农机行业的整体国际化步伐则相对较为缓慢，只能说是摸索前行，仅仅停留或满足于现有产品的出口，市场主要集中在中等以下欠发达国家。要想在残酷的国际竞争中立于不败之地，必须加强高端技术的创新与成熟化，一方面，稳固占领国内市场，提升内部市场国际化竞争力；另一方面，我国的农业机械必须坚定地走出去，而且必须向产业上游挺进，提升外部市场国际竞争力，才会有真正的出路，国际化的征程既紧迫又任重道远。

第 18 章　发达国家支持农机国际化发展的政策经验

美国、德国、法国、日本和韩国等国际上农业机械产业发达、技术先进的国家，其农业生产已实现了全程机械作业，进入到全面自动化阶段，始终处于国际领先地位。这些都离不开这些国家大力支持发展的各项政策法规以及科研开发、技术引进、技术转移、对外开放以及人才国际化等政策。虽然不同国家、不同阶段的政策各有特点，但其成功的发展经验对我们无疑具有很强的借鉴意义。

18.1　产业发展政策与法规

为确保农业机械产业发展和技术创新应用，发达国家都无一例外地制定行业发展保护和扶持政策，并且通过立法对促进农业机械产业发展的各项政策措施作出具体的规定，包括资金、税收、科研、推广、农业基础设施建设和农机社会化服务体系建设等方面，系列产业发展政策法规的实施，加快推动了农业机械产业科技进步和农业现代化发展，并始终保持国际竞争优势。

美国在《农业法》中对有关农业机械发展的教育、科研、推广、产品质量鉴定等方面都作了相应的规定。此外，购买农业机械和改良土地，联邦中期信贷银行还提供专门贷款。据统计，美国农场每年投资的 40% 靠借贷，60% 以上的商品农场需要借贷。联邦土地银行每年以较低的利率向农场主提供大量抵押贷款，期限从 5 年到 50 年。规模化农场的稳定发展，为美国高端农业机械技术和产业发展提供了广阔的市场空间，支撑了其技术的持续创新发展，促使美国农业和农机产品几十年来一直成为主要出口产业，如美国制造的农机 1/4 以上供出口。

日本政府颁布了《农业机械化促进法》《农业协同组合法》《农业协同组合合并助成法》《农业复兴法》《土地改良法》《农地法》等法规和政策，成为支持农机研究、制造、试验、培训、推广、销售、使用、安全管理等工作的行为准则。日本政府还针对农机发展制定了专门的补贴扶持与财政信贷政策。

1）购机补贴。政府对下述项目补贴 50% 经费：农机展览场所和农机培训机

构的建设及活动经费；用于农业机械合作组织的建设活动经费；作为农民操作培训和教学使用的农业机械；农业机械修理厂的建设及其工作费用；农民购置大型高效农业机械和设备。

2）购机贷款。政府从1961年开始专设农业机械购置贷款项目即农业机械化基金，年息6.5%、借期7年，对农户最大贷款额为600万日元，对农业协同组合最大贷款额为5 000万日元。此外，还有一种“农业改革基金”无息贷款，用于农民引进新技术或解决农户创业时所必须购置的农业机械和设备费用，借期3~5年。

3）建立“农业机械银行”。日本针对农户小而全的农业经营形式建立了“农业机械银行”，有效地解决了农机化资金不足的问题。其做法是由几户农民联合起来，一家买收割机，另一家买插秧机，其余的几家分别买拖拉机、排灌机械等，独立经营管理，统一集中协调使用，使用人向机具所有者支付租金。这种做法投入资金少，使用效益高，作业成本低，社会效益显著。

德国专门制定了《农机法》，促进农业机械研发和规范管理，引导农业机械科技创新，提高装备的质量，并先后制定了《农业法》和《土地整治法》，集中土地资源，实现规模化农业生产，为大型高端农业机械的应用提供了广泛的市场，又反过来促进了农业机械企业对大型农业机械的研发。大力扶持农业机械新技术产品从研发到推广运用的全过程。在新产品开发阶段，每年安排专项资金，扶持上报的项目，一旦批准，资金随即到位，以保证新产品开发的需要；在示范推广阶段，联邦政府出资比例占60%，各州占40%，推动新产品尽快转化；在农民使用购买时，政府专门拿出一定比例的资金进行补贴，促使农民使用新机具；农民购买新机具后，若需进行技术培训，政府还会拨付专项资金予以支持。近年来，随着对环境保护以及农业可持续发展的日益重视，德国政府对农业机械企业的扶持重点转向环境友好型农业机械的研发和推广，同时还进一步加大了对相对落后地区的农业机械补贴力度。

法国围绕提高农业生产率、增加农民收入、稳定市场以及保证农产品质量的宗旨，政府制定了相关的农业和农业机械产业发展扶持政策，如土地集中政策、农业专业化政策、农业信贷政策和农用燃油减税政策等。

18.2 科研开发政策

发达国家都建立起相当完整的农业机械科研、开发体系，为农业机械核心竞

争力提升和技术不断进步提供了良好的保障，确保始终保持国际化领先优势。

美国联邦政府和各州政府，建立了庞大的公共科研体系，每年对农业科研拨出大量经费。20 世纪 70 年代，美国政府每年包括农机科研在内的农业科研经费就达 20 亿美元，以后每年都有增加。在全国约 50 所大学中开设了农业工程专业。据统计，2005—2008 年间加州大学戴维斯分校、康奈尔大学、普渡大学、德州农工、伊利诺伊大学，这 5 所大学农业机械工程专业的研究学者获得博士学位率为 98.2%，年人均科研经费 7.19 万美元，年人均发表 SCI 论文为 1.06 篇。另外，美国农业机械科技创新的智囊团队来自于美国农业与生物工程学会（ASABE），前身为美国农业工程学会（ASAE）的美国农业与生物工程学会成立于 1907 年，目前已有分布在 100 多个国家超过 9 000 人的会员队伍。实施企业为主体的联合开发机制，如约翰迪尔、爱科等著名农业机械企业与西北研究院合作，瞄准新型排放标准下的农用动力机械技术联合研发，共同推出自走式农用动力排放标准。

德国建立了较为完善的农业机械科技创新体系。政府设立了布朗斯维克农业研究中心，积极开展与农业机械相关的科研工作，在一些大学内成立了农业机械研究中心，为农业机械生产企业提供必要的科技支持；农业机械生产企业根据市场对农业机械的需求，通过企业内部的研发中心开展技术创新和新产品研发；一些全国性的社会组织，如农业协会、农业机械拖拉机协会、农业咨询服务部和情报服务部等，利用与农户的密切联系进行农业机械科研成果的推广和应用，并将农户的要求实时反馈给企业，促进企业技术和产品的升级换代。

法国农机研究工作主要由直属于农业部的“国立农机试验研究中心”承担，其任务是农业机械的应用、研究、试验和鉴定，农机现代化的经济分析，农机专业资料的收集、整理和发行，农机技术人员的培训，以及农机教材、书刊的编写出版等。

为了适应农业发展对农业机械新技术的需要，日本政府于 1962 年主导设立独立研究机构，加大农业机械创新力度，主要从事民间机构实施风险较大的农业机械基础试验研究以及针对开发改造项目进行研究和开发。日本政府成立的农业机械研究所，是一个半官办的合作组织，其经费由政府和私营企业共同提供，研究所进行的开发研究和试验工作对农业机械技术的发展起到了巨大的指导与推动作用。

18.3 技术引进政策

技术引进是发展中国家自主创新的必经之路。制定形成战略性的技术引进政策，在引进国外先进技术提升本国技术自主创新能力的同时，不加重对国外技术依赖，确保国家技术安全，避免落入“技术陷阱”。日韩等国在这方面的探索有诸多值得借鉴的举措。很长一段历史时期，日本都遵循着先引进国外技术并消化吸收，以增强产业自主开发能力，再向创造型知识密集化产业科技发展的模式。日本企业在引进国外技术方面遵循着：“引进零部件能解决问题的就不引进单机，引进单机能解决问题的就不引进成套设备，对工艺和技术的引进重于对设备的引进”的原则，政府也以“一号机进口、二号机国产、三号机出口”作为技术引进的审批标准。实施这样的政策，对日本经济发展的确起到了重要的作用，使日本的产业技术具有很强的国际化前沿竞争优势，尤其是在产业的商品化技术方面。1951—1961 年期间，正是日本引进、消化的兴旺期，共引进国外技术 1 062项，把技术创新能力主要用于消化、吸收引进的国外技术上，结果做到了“青出于蓝而胜于蓝”。韩国在 1962 年制定第一个五年计划时，分析了世界上各先进国家的产业发展模式，结合本国的情况，确立了技术“不均衡”的发展模式，即引进、消化、国产化、出口打入国际市场的国家科技技术发展路线。20 世纪 60 年代，韩国对技术引进制定实施了严格的审查标准，规定以下几类技术是不宜引进的：引进技术仅仅是为了使用外国商标，或取得独家经销地位；技术转让合同中明显包含不利条件；技术低于一定标准；与韩国科技部推荐、登记并保护的国内技术产生直接竞争。为了做好技术的引进、消化和创新工作，韩国政府组织成立了由相关产业部门牵头，科技部、贸易部、人力资源部、企业代表和科技专家参加的论证委员会，研究制定从技术引进、消化吸收、自主创新到产业化等一系列计划，组织政府相关部门的科研院所和企业协同进行消化吸收和创新。

引进消化再创新措施，确保再创新技术的产业化。韩国政府通过提供税收优惠及资助等办法，来促进企业引进技术和开展自主研发工作。比如，企业引进技术支付的各种费用（包括专利权使用费）在 5 年内均可免税等；企业所属研究开发机构的研究试验设备的投资，按购置价款的 50%（国产器材为 70%）实行加速折旧；韩国《技术准备金制度》规定，企业可按收入总额的 3% ~5% 提留技术开发准备金，在投资发生前作为损耗计算，自提留之日起 3 年内使用。为了

促进技术的转化，韩国政府规定：转让或租赁专利、技术秘诀或新工艺所得收入，按照合同提供自行研究开发的技术秘诀所得的收入，可减免所得税或法人税；转让给本国人所得的收入，全额免征税金；转让给外国人所得的收入，减征50%的税金。韩国政府对于高新技术的引进采取再度开发计划，规定企业引进技术必须留有同等数额的费用用于消化吸收，缺乏吸收能力的公司必须委托研究开发机构吸收。此外，韩国政府还采用风险投资方式帮助企业承担引进风险，向对引进技术进行消化吸收的企业提供长期贷款和税收优惠，满足引进技术企业消化吸收的需求。

实践证明，日本和韩国在技术引进限制和审批制度方面的创新，以及注重对引进技术消化吸收、加强创新保护的措施是积极而富有成效的，有力地促进了本国技术进步。

18.4 技术转移国际化政策法规

发达国家技术转移国际化对促进本国技术进步、产业经济发展和提升国际竞争力起到了巨大推动作用，其促进技术转移的政策法规对农业机械科技创新国际化发展无疑具有直接的指导和借鉴意义。

20世纪80年代以来，美国国会为了提升国家竞争力，促进由联邦政府资助的研究成果的商业化和产业化，颁布了20多部有关技术转移的法律、法规和法案。其中最具影响力的有《拜杜法案》（1980年通过）、《史蒂文森·威德勒技术创新法》（1980年通过）、《小企业技术创新进步法》（1982年通过）以及《国家合作研究法》（1984年通过）等，以这些法案为支柱，建立起了完整的技术转移法律体系。这些法律的实施，极大地促进了知识、技术、人才的流动，紧密了大学、研究机构、政府实验室和产业界的结合，对美国长期在国际经济竞争中保持领先地位起到了非常巨大作用。《拜杜法案》，也称《大学、小企业专利程序法案》实施后，美国的大学与产业界的合作情况大为改观，大学开始在科技和经济的互动发展中扮演重要的角色，美国政府也通过巩固和加强知识产权优势，促使其长期积累的科技成果不断转化，从而对保持美国在全球经济、科技中的领先地位发挥了重大作用。《史蒂文森·威德勒技术创新法》是第一部定义和促进技术转移的法律，它将技术转移上升到提升国家竞争力的高度来认识，其主要立法目的在于建立联邦实验室与企业合作进行研发的机制，加速推动技术移转和商品化。《小企业技术创新进步法》的目的是鼓励中小企业技术创新，利用中

小企业的技术力量来满足联邦政府研究开发工作及商业市场的需要，并强化社会各界在联邦政府研究成果商品化过程中的作用。《国家合作研究法》允许两家以上的公司合作从事同一个竞争研发项目，而不受《反托拉斯法》的限制，并成立了若干个大学和产业界组成的技术移转联盟。

另外，欧美国家和日本等鼓励国际化技术转移的都是具有核心技术优势、高品质、高附加值的技术产品。日本国家政策支持的两个战略重点方向：一是支持高技术和拥有自主开发产权的企业向海外市场挑战；二是确立日本品牌，通过扩大日本企业的出口，进一步提高日本产品的影响力。从美国、日本、德国等农业机械具体走出国门的例子中，不难看出，它们不仅仅是单一产品的出口，更多是本国成熟成套技术模式的输出，包括农田的规划、机器制造、工厂及农场的管理等，降低了技术国际化的风险。

18.5 产业结构调整政策

国际产业竞争能力在很大程度上表现为大型企业集团和产业集群之间的竞争，代表了一个国家的综合实力，成为一国国力的象征。培育我国大型农业机械企业集团和优势产业集团是农业机械科技创新国际化的先决条件和重要载体，必须充分借鉴国外扶持大型企业集团和鼓励构建优势产业集群的成功经验。

美国作为世界上农业机械产业最为发达、技术最为先进的国家，拥有约翰迪尔、凯斯纽荷兰、爱科等世界排名前列的跨国农业机械企业集团。2010 年，美国约翰迪尔一家企业的销售产值相当于我国农机工业总产值的半壁江山，技术遥遥领先。美国农机产业生产的农业机械生产率高，性能先进，标准化、系列化、通用化程度高，为美国农业现代化发展提供了大量先进的农业机械，提高了农业劳动生产率和农产品商品率，保持农业在国际上的竞争力。而且，高性能高端农机产品由满足本土有限市场的需求，结构调整为面向全球化大量出口，美国生产的农业机械出口量占到了其农业机械生产的 1/4。

世界上最成功的产业集群——硅谷的经验，能够给我们在产业结构调整、保障形成国际化市场资源补充发展的格局与机制上提供借鉴。美国硅谷作为科技国际化的最前沿区域，是集科学、技术、生产于一体的产业集群带。硅谷的经济奇迹一直吸引着世界各国的目光，其科技国际化程度之高堪称全球之最。硅谷实际上已成为文化、科技、学术、金融、法律、人才的有机体。

硅谷文化的一个最明显的特征是活跃的技术和商务社区。人们每天都能够找

到自己可以参与的社区去结识新朋友，了解新动向，找到新资金，学习新知识，理解新政策。这些社区是各个专业的人才，各公司的雇员，丰富的服务机构，还有政府和非营利机构的人员交织的场所。

众所周知，硅谷是世界高科技的中心，每天都有很多科技创新问世。然而，硅谷最大的秘诀不仅仅是科技创新，更重要的在于应用创新。信息时代的许多关键技术，例如晶体管、激光、Unix、TCP/IP 等，都不是硅谷首创，但硅谷将这些核心技术成功地整合，然后创造出有极大商业价值的产品。

人才济济也是硅谷的特点之一。以斯坦福大学为核心，加州大学伯克利分校以及其他分校还有众多的社区大学辅助的一个学术系统立体地向硅谷提供各层次的人才：技术、管理、市场、法律、资本等。这些学校在培养人才的过程中与企业密切合作，培养市场需要的智慧。学校教授的研究课题也和企业挂钩，让最先进的研究能尽快进入市场。

硅谷独特的金融体系为高科技公司的开创和发展提供动力。风险投资机构林立。风险投资家们每天都在寻找优秀的团队和产品，他们嗅觉敏锐，决策迅速。他们还有一整套的方法帮助创业者成长。从一个技术概念到成熟产品，从实验室到广大市场，风险投资家们无不细致地参与其中。

创新的必要条件之一是有一个能充分发挥能力的环境，美国完善的法律法规和规范成为促进创新持续发展的强有力保护。例如知识产权保护法，它为科技创新提供了法律的保障，使人们愿意投入资金、时间和智慧去创造并享受成果。还有严密的合同法和坚实的契约文化，让每一份合同都得到保障，让签约的各方能够全力以赴为目标奋斗。更重要的是，硅谷人在过去的百年之中，逐渐制定了一系列不成文但有效的行为规则，例如公司的利益分配机制，包括投资者和创业者如何分享风险和成果，初始创业者和后来的加入者又如何分配等。健康的行为规则使得合作和交易的信任成本和风险都大大降低。

18.6 外资开放政策

扩大对外开放，有效引进外国资本，成为促进国家经济发展和加快提升国际竞争能力的有效途径。我国 30 多年的改革开放已经充分证实了“利用外资”是一条成功的国际化之路。但是，长期以来，为了加快吸引外资，我国政府对外国资本提供了各种特殊优惠政策，实行“权力下放”政策，大大降低了外资进入我国的门槛，使得地方政府为吸引外资而展开竞争，几乎是不加选择地引进低档

次、简单的生产线，导致低水平的重复屡禁不止。从实际发展来看，这种外资政策对我国的经济发展起步起到了巨大的推动作用，但民族工业被迫面对资金和技术实力强大、在我国享受各种优惠待遇的跨国公司，产业发展受到严重削弱与制约。世界最大的农业机械企业约翰迪尔公司先后以合资、收购、独资等形式，收购了我国知名农机品牌佳联和天拖，无疑是我国农机工业发展史上的惨痛教训。相比于我国，日本政府引进外资的方式和政策无疑更为成功。

日本于 1949 年 12 月制定《外汇及外贸管理法》，翌年 10 月制定《关于外资的法律》，正式拉开引进外资的序幕。与此同时，为了保护国内市场，扶植民族工业发展，日本对外资的进入作了严格限制。如《关于外资的法律》规定：外国企业在日本国内的投资，股份不得超过 50%，而且要有益于提高日本国民的收入水平和增进就业及改善日本的国际收支。日本虽然对于向外资开放的部门实行外国投资自动认可制度，但是同时规定了较为苛刻的条件，例如，在新建的合资企业的董事、董事长中，日方所占的比率必须高于非日方股东的股份比率。在引进外资的方式上，日本政府和产业界都倾向于从国外引进间接资金，以避免日本企业被外资企业控制，他们同外商建立合资企业的动机主要是为了取得外商的商标和技术。另外，日本政府的主管部门始终掌握着对外资进入和技术引进的审批权。引进外资的前提条件是，国内企业及本国产品要初步具有与外国进行竞争的能力。日本在选择对外开放的产业时都要经过认真的评价，提出了 35 个具体标准，包括企业规模、技术水平、开发能力、质量、性能、商标知名度、价格竞争力、设备的现代化水平、销售网络的完善程度等。只有经过测评分析，具备国际竞争力时，才会向外国资本开放。

这种政策在美国也有类似规定，外商投资股份超过 10% 时，必须取得相关部门的审批。美国和日本的这种外资政策保护了国内市场免遭外国的挤压与垄断，为本国企业的技术研究开发、企业快速成长与发展壮大、形成国际化竞争优势提供了良好的发展环境。

18.7 企业“走出去”的支持保护政策

“走出去”是我国农业机械优势企业国际化发展的必由之路。目前，在我国农机企业“走出去”或海外试水的道路上，可谓喜忧参半、有得有失。而从国际发展经验看，企业在“走出去”实行国际化市场发展的过程中，来自政府层面的支持政策无疑是最为重要的推动与保障因素，作为世界最重要的两大经济

体，美国、日本两国支持本国企业国际化的政策体系提供了有益启示。

18.7.1 海外投资税收优惠

美国政府早在20世纪初就开始对企业对外直接投资实行纳税优惠，后虽经多次修改，但仍是政府支持和鼓励美国企业海外直接投资的重要工具。税收优惠措施主要包括所得税方面的优惠，主要是税收减免、税收抵免、税收延付、税款亏损结算和亏损退回等。以及关税方面的优惠，主要是通过实施“附加价值征税制”来实现。1962年后，日本开始对海外投资收入实行税收抵免，并逐步增加税收抵免对象的种类。

18.7.2 国家财政资助

美国企业对外直接投资的资金来源虽然主要靠公司自有资金的积累和从银行或其他渠道的借贷，但政府提供的优惠贷款也起着重要的补充作用。其中，美国进出口银行与海外私人投资公司在这方面扮演着重要角色。利用对外援助推动私人资本输出也是美国政府的一贯方针，几十年来所采取的主要方式有：把美国提供援助与受援国为美国私人投资提供方便联系起来，做出有利于美国资本扩张的许诺，为美国公司参与项目建设、扩大投资提供有利条件。

日本是发达国家中促进跨国公司海外直接投资最为积极的国家之一，多个政府机构参与对外直接投资的促进活动，而且大多与发展援助结合在一起。如日本在企业对其海外员工进行培训方面，使用《海外技术者研修制度》，即委托海外技术者研修协会对其海外员工进行培训，对此政府可提供一定比例的补助金。企业组团赴海外调查时，使用《海外投资调查辅助制度》，以得到日本政府的资助。

18.7.3 政府外交支持

通过与其他国家签订双边或多边条约以及利用国际经济组织，美国政府对本国企业海外直接投资进行外交方面的支持与保护。第二次世界大战以后，美国制定了许多旨在保护对外直接投资利益的法律，其中重要的有《美英贸易和金融协定》《经济合作法》《对外援助法》《肯希卢伯修正案》及1974年《贸易法》中的限制条款。此外，美国还广泛利用其所发起和参与的国际组织为本国海外投资服务。

为保证海外企业的权益，确保最惠国待遇以及促进与缔约国的资金、技术交流，日本与一些国家和地区签订了双边投资保护协定，如与中国、埃及、斯里兰卡、土耳其、孟加拉国、巴基斯坦、俄罗斯等国家和地区签订了双边投资保护协定。

18.8 国际化人才吸引政策

国际化人才是世界各国国际化发展过程中抢占的最具活力资源，也是国际竞争力的核心要素。为提升国家的科技发展水平和提高生产力，许多国家竞相推出了吸引外来人才的战略，从这些国家的人才引进政策和举措中便可获悉。

美国之所以雄踞世界经济领头羊位置长达半个多世纪，至今仍未有衰退的迹象，与美国政府长期以来奉行人才引进战略，利用灵活多样的移民政策、教育政策、人才政策等从世界各地网罗人才密切相关。移民是美国吸引人才战略的重要措施之一，美国接纳的移民主要分两大类，即亲属移民和职业移民。在职业移民对象中，第一优先者为具有特优、特殊或特异技能的外国人、著名教授或杰出研究人员、跨国企业的经理或管理级人员；第二优先者为具有高学位、特殊专长且其专长能为美国带来实质利益的专业人士，或在科技、艺术、商业等方面有出众的特殊能力的人；第三优先者为经过技术劳工两年以上职业训练或具有两年工作经验的技术劳工、初级专业人员、非技术劳工。外国科技人才源源不断流入美国，激发了美国持续兴旺的高科技人才活力。

日本国土狭小，人口众多，加上一贯排外的倾向，在是否接受外国单纯劳动力上，国内各界至今仍未取得共识，但在通过移民法大量网罗各界精英方面，认识却是惊人的一致。日本总结出一套适合本国国情的“重金”招揽人才的方法，这就是通过购买、吞并外国企业或公司，将被购买或吞并的企业或公司里的人才也为己所用，这应该说是日本利用他国人才资源的又一新举措。再有，他们还通过购买或资助的方式，获得或部分获得发达国家名牌大学的实验室，在那里获取高级人才的智力资源。此外，他们不断扩招留学生，充分利用外国留学生最旺盛的创造力。由于各国派出的留学生一般都是学校的尖子，他们思想活跃，研究能力强，特别是在研究生毕业后的 3 ~ 5 年时间内，是创造力最旺盛的时期，正是日本增大接受留学生容量的一个重要原因。

在人才战略上，英国也有一些独具特色的措施和做法。首先，英国奉行全球化的人才观。英国每年有不少高科技人才受优厚报酬的吸引流向美国，英国对此

并不刻意限制，而是对人才流动采取“来去自由”的宽松政策。英国人才政策一个明显的特点是在创造人才回流的宽松环境和创业条件上下功夫。其次，英国还奉行实用主义的人才观。他们认为一个拥有很高学历和丰富经验的人不一定就是难得的人才，但一个已经创造出科研成果的人必定是真正意义上的人才。与其花费大量资金和时间去培养一个高科技人才，还不如耗费巨资吸收这一类人才，并以重金购买其高科技成果。这是英国能在高科技领域走在世界前列的奥秘所在。此外，英国瞄准的是全世界人才。近几年，英国高科技领域有不少人才流向了美国，但英国也从英联邦及欧盟其他国家吸引了不少同类人才，他们的进入在很大程度上平衡了英国本地人才流失造成的缺位。

第 19 章　著名跨国农机企业发展的策略分析

近年来，我国经济快速稳定发展，农业现代化深入推进，尤其是国家实施了系列强农惠农政策，国内农机市场产销两旺，农机企业数量和规模快速扩张，加之发达国家农机市场出现萎缩，国际知名农机企业进一步加大了抢占我国市场的力度，大量跨国企业的进入，导致我国农机市场竞争异常激烈。此外，适应世界经济一体化的趋势，我国农机企业也必须走出国门，在更广阔的市场上发展。因此，借鉴国际知名农机企业创新发展模式以及全球市场创新开发的成功经验，统筹国内、国际两种资源和两个市场，探索适合我国企业国际化发展的模式，成为提升我国农业机械产业国际竞争力的必由之路。

19.1　跨国农机企业国际化发展的策略分析

近年来，随着全球经济一体化深入发展，农业机械制造业历经资源整合、产业升级，企业集中度大为提高，曾经在行业中如灿烂群星交相辉映的国外知名农机品牌，大多重组形成几家大型跨国集团，尤其是欧洲的农机企业兼并重组表现更为突出，值得我们借鉴。世界知名农机企业国际化发展历程如图 19-1 所示。

纵观国际知名农机企业兼并联合重组的过程，世界农机发展史上基本上历经了三次大规模的兼并重组，分别是 20 世纪 30 年代，20 世纪 70 年代和 20 世纪 90 年代。联系当时的宏观经济形势，也正是世界经济从巅峰转向萧条的颠簸动荡时期。如 1929—1933 年世界经济危机，1973—1975 年石油危机和 1987 年黑色星期一等经济危机阶段。这说明随着经济危机的出现，农机企业的结构在不断调整，产品线在不断完善，补充各自企业不足，联合协同开拓更广阔的市场，寻求发展机会。爱科公司的兼并收购过程则更是耐人寻味，也给我们提供了有意义的借鉴。它是伴随全球经济社会复苏而发生的，也是靠资本运作直接进军农机高端市场的成功典范。20 世纪 90 年代初，爱科公司依托一家财务管理公司，依靠雄厚的财力及远大的战略目光以收购道依兹・阿里斯农机分部为契机进入农机行业。

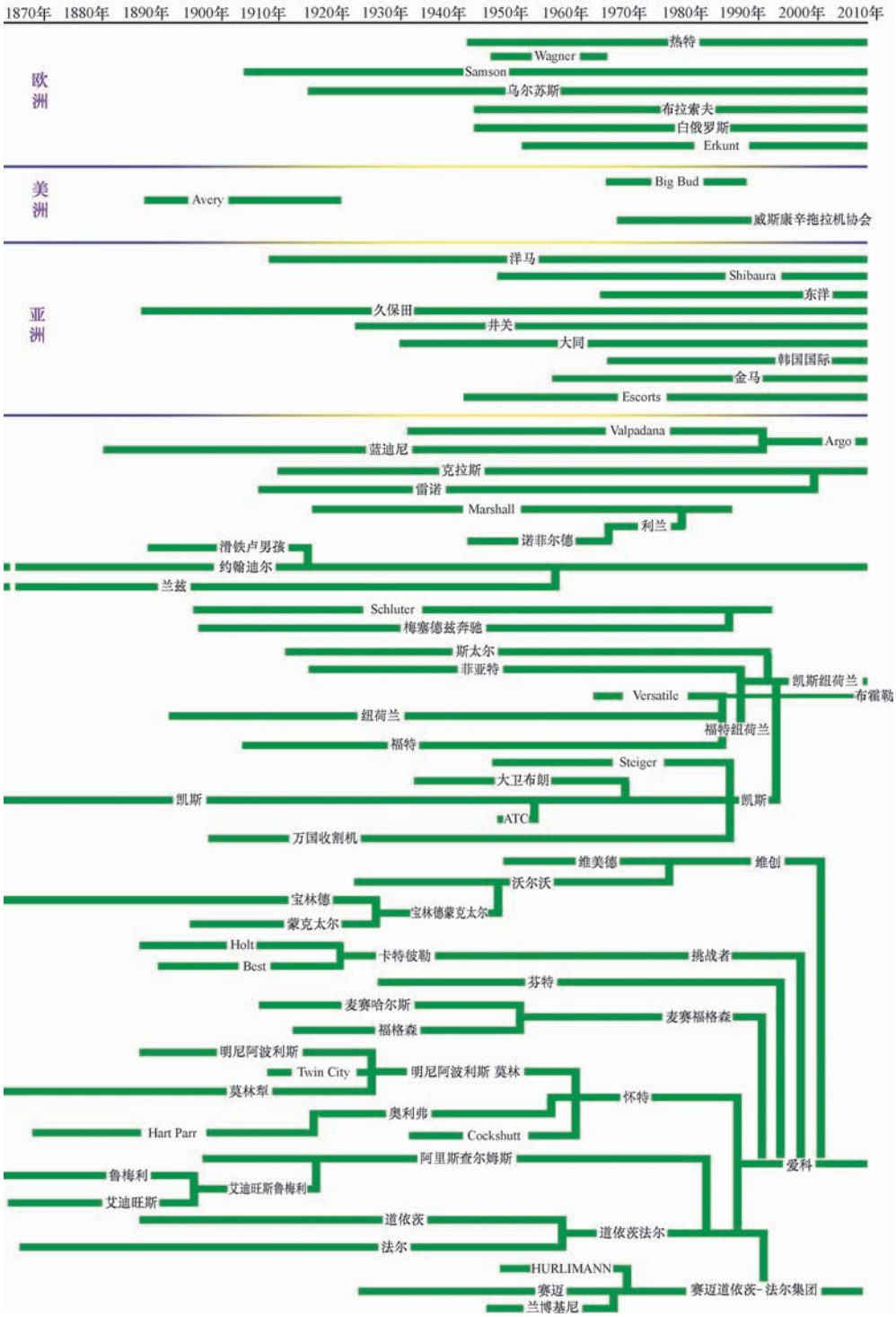


图 19-1　世界知名农机企业国际化发展历程

分析国外著名大型农机企业国际化发展的过程，其发展模式主要包括：

1）纵向一体化发展模式。约翰迪尔公司的稳定发展是纵向一体化模式的代表。这种模式通常在运作国际业务、吸纳上下游伙伴或扩大业务领域时应用。约翰迪尔公司在从事国际业务时，通过用统一品牌，建立合资企业以及营销协议来实现增长，然后逐步实现独资。

2）横向一体化发展模式。横向一体化发展模式主要分为两种，一种是以资本为纽带的横向一体化，如爱科，从1990年成立起，先后20多次成功兼并收购世界知名农机企业，如麦赛福格森、芬特、海斯顿、挑战者、维美德等，一跃成为世界第三大农机巨头，实行以资本为纽带，统分结合，各品牌企业间互相代理营销的业务运行体系；另一种以技术、产品、市场互补走向国际化为特征，如凯斯纽荷兰等。

3）另外，德国克拉斯、意大利Argo、赛迈道依茨-法尔等欧洲农机企业，日本久保田、井关、洋马以及韩国大同等亚洲农机企业，坚持立足本土优势，在专业化领域保持了核心技术创新优势，也成为历久弥新的国际知名专业性技术企业。

19.1.1 约翰迪尔——根深本土，稳步扩张，充分发掘产业链价值

美国约翰迪尔创建于1837年，由最初只有一个人的铁匠铺发展成为今天业务遍及全球160个国家和地区、拥有约6万名员工的跨国农机企业集团。2010年，约翰迪尔的销售额为260亿美元，经营规模稳居世界农业机械企业第一位。约翰迪尔科技创新国际化的成功，得益于其持续创新的科技发展战略，得益于其根深美国本土高端技术、轻简化成套延伸稳步国际扩张的国际化发展战略，得益于其立足自我品牌价值、产业链价值的创新战略，更得益于先进的制造条件和能力。

1. 突破未来需求的科技创新发展战略

一是持续的研发创新投入。约翰迪尔始终致力于全球领先农业机械技术研发和产品储备，避免陷入“平价商品地狱”，持续加大农业机械创新投入。近15年，约翰迪尔公司研发经费一直占公司净销售额的4%～5%，用于研发的支出每天将近两百万美元，在整个农机行业处于遥遥领先地位。

二是创新研究方法和业务流程。为了支持整体业务发展战略，约翰迪尔引进了一个称为业务发展过程的多阶段框架，简称BGP。BGP致力于帮助整个公司

通过一组创新项目，以及现有产品和服务的改进，来实现持续的、盈利的增长。约翰迪尔公司还发展了一套 BGP 的补充程序，专门用于加快创新和改善创新的质量，满足客户与众不同的需求。

三是突破未来需求的创新。突破性创新需要有发现未知市场和未知科技知识的能力。首先是了解客户未表达出来的需求，然后把市场需求与科技潜力结合起来，最终创造以全新的、与众不同的方式解决问题的一系列产品和服务。它明显地改进了产品性能或服务，提供了新型的、与众不同的产品和服务。约翰迪尔的自动驾驶系统就是突破性创新的很好例证，几年前拖拉机市场陷于萧条时，这套系统使约翰迪尔区别于其他公司。与一般汽车导航系统不同的是，自动驾驶系统非常精确，它能够引导拖拉机和农具到距离前一路线 30cm 以内的范围，这几乎消除了重复作业，所以节省了燃料和肥料成本，也降低了机器的磨损。同时，减轻了操作人员的疲劳程度，提高了生产效率。

四是注重凝聚培养人才，打造精英团队。在约翰迪尔，精英团队就意味着创新。约翰迪尔为了创造一支精英团队，月薪制员工们制订的年度业绩计划，能够支持各个单位、部门和全公司发展的目标。同样公司发展了员工认为“最好的”薪酬制度，对好的业绩给予奖励，对优秀表现施与重奖。约翰迪尔相信，只有吸引、发展并留住具有各种背景的全球最好的人才，才能够打造起最强大的高业绩团队。正是这些团队成员日常实现的成果，以及他们对质量和客户服务的一丝不苟，约翰迪尔才能够投资于发展项目，并获得可持续性创新。

2. 根植美国本土的市场创新发展战略

第一，约翰迪尔公司成立于美国本土并拥有 170 多年的悠久历史，它在美国一直是农机的标志性品牌，见证和引领了美国农业机械现代化的整个发展历程。因此，它与美国市场有着深厚的历史文化关系，也正因如此，约翰迪尔公司一直在北美市场拥有良好的美誉度和深厚的品牌文化，对公司在美国的市场开发起到了很大的作用。

第二，约翰迪尔将美国市场定位为全球市场的最基本部分，并深层次地开发了美国市场的各种需求，将本土业务做到最大化、最优化，以此向国际化市场拓延。该公司根据美国市场购买力的特点和政策的导向将客户群划分为赢利和非赢利两个部分，同时再将这两个部分依据公司的业务形式和产品种类划为 8 个亚单元，明确了消费需求的差异性，从而通过分析不同单元的消费差异提供合适的产品和特殊的服务项目。

第三，约翰迪尔公司根据北美市场各个地区的差异性将细分后的市场进行区域规划，最大限度地开发了市场。约翰迪尔公司一直采取将高端产品投放到美国本土市场的产品分层销售战略，并依照各个地区的种植特点和市场需求再分配产品给经销商，如约翰迪尔公司在美国中西部传统农业种植区提供最新的精准农业技术产品，因为这些产区地域广阔，是美国玉米、大豆的主要种植区，并具有农业基础设施发达的良好条件，对最新农业技术有很高的需求度和接受度。

此外，根据近年来企业发布的报告可以看出，约翰迪尔公司正逐渐将市场开发方向调整为：以美国市场为基础，以海外市场拓展为潜在增长点，尤其以发展中国家为主的战略方向。虽然美国是约翰迪尔公司的最大主体市场，但是公司的主要经济支撑点依靠于美国农业的循环经济发展，依赖于农场主或农机合作社的生产收益状况。这种发展模式使得企业的业绩增长更依赖于经济形势，这种模式会给企业带来一定的风险性和不确定性。在全球化进程推进的同时，约翰迪尔公司也正慢慢调整企业对美国农业经济的强烈依存关系，着眼于新兴市场开发。尤其是近几年来，约翰迪尔公司分别在发展中国家，如巴西、墨西哥、中国、印度等国家和地区开设拖拉机厂，并根据发展中国家的市场特点，向这些地区提供更接近当地经济、生产状况的产品，如中、低档拖拉机产品。而高端的拖拉机产品仍在美国本土生产并主要在传统市场销售，同时也销往全世界各地。这主要有两个原因。一是这些发达地区的农业收入较高，农机购买力很强，同时农业基础建设发达，农业耕作制度先进，从而有较高的生产需求性和实用性。相反在亚洲、非洲和拉美地区农民收入较低，购买力不足，而且一些地区农业种植技术原始，基础设施建设落后，劳动力价值过低，从而造成对农机的需求水平较低。二是在发展中国家生产中低端产品成本较低，可以有效地降低销售价格，增加产品在当地的竞争力。同时，发展中国家生产工艺落后，不适于生产高端产品。当然，随着发展中国家现代农业的快速发展，对一些高端技术和产品也具有潜在巨大需求。

3. 结盟式产业链创新策略

一是直接获取成熟优势技术，既节省了技术研究开发费用，又完善了产品系列。直接兼并一些生产某种特定产品或核心技术的中小企业，可以获取成熟技术，然后利用自身的产业开发能力和市场网络，将产品直接投放市场。如 1997 年，约翰迪尔先后收购了荷兰从事精准农业用喷雾机开发的道文公司和德国一家专业生产收获机和撒肥机的坎伯特（Kempt）公司，完善了相关领域产品系列，

领先于其竞争对手；1999 年，约翰迪尔收购了芬兰的蒂姆拜杰克（Timbejack）林机公司，该公司产品销售到全球近 80 个国家和地区，并且在芬兰、瑞典和美国均有生产工厂，这样进一步加强了约翰迪尔在全球林业机械行业的地位和竞争能力。

二是发挥品牌优势，结成产业联盟，定牌生产。将技术含量附加值较低的产品交由一些专业性较强的小公司生产，这是目前流行的做法，不仅仅限于农机企业。如约翰迪尔将 29.4kW（40 马力）以下拖拉机等产品交由日本井关生产。另外，为了销售地域上的方便，将某一系列的产品交由当地的配套厂组装，减少运输成本。如意大利的卡拉罗（Carraro）公司是一家生产传动系的专业公司，其产品与约翰迪尔配套，约翰迪尔为了加大在欧洲市场上的份额，将其适用于欧洲市场的 5100 系列拖拉机交由卡拉罗公司装配，以约翰迪尔品牌在欧洲市场销售。

19.1.2 凯斯纽荷兰——强强联手，互补发展，整合全球资源

凯斯纽荷兰（CNH）是 1999 年由凯斯和纽荷兰两家国际著名的农业机械企业合并而成的，成为紧随约翰迪尔、经营规模稳居世界排名第二的跨国农业机械企业集团。其产品主要涉及农用拖拉机、打捆机、咖啡收割机、联合收割机、棉花采摘机、甘蔗收获机、园艺机械和耕作机械等。这些产品通过 4 000 多个经销商销往美洲、欧洲、非洲、亚洲、大洋洲等的 160 多个国家和地区。

凯斯纽荷兰的发展策略经历了从纵向一体化向横向一体化转变的过程。纵向一体化的发展策略，为企业早期技术积淀、资本积累、市场开拓提供了发展基础，运用横向一体化的发展策略，适应了多元化、全球化市场和技术发展的需求。在国际化创新发展过程中，凯斯纽荷兰通过聚合全球新技术资源、品牌资源和市场资源，并注重持续的科技创新，在高端农业机械产品方面长期处于领先地位。

1. 技术互补，巩固高端领先优势

通过收购新兴的具有发展潜力的新技术公司，巩固领先优势。1995 年，凯斯推出了一种利用卫星遥感技术监测农作物产量的先进农业系统（Advanced Farming System，AFS），并在 1996 年即用于其轴流式联合收割机上，成为世界上第一家在产品出厂时就配有精准农业装置的公司。为继续扩大技术领先优势，1997 年，凯斯兼并了一家农用计算机软件开发公司阿格罗-罗杰克（Agro-Logic），该公司尤

其在产量分布图软件方面拥有独特技术，加强了凯斯在精准农业技术方面的领先地位。

2. 产业互补，壮大规模增实力

纽荷兰和凯斯都是以生产拖拉机及农业机械为主、兼生产工程机械的跨国公司。两家公司的重组被誉为农业机械发展史上最大规模的合并活动，并且公司间的合并为整个集团带来了巨大的国际化市场收益。在合并之前，虽然凯斯公司和纽荷兰公司在行业中排在第二位和第三位，但是两家企业各自的销售额都不足约翰迪尔公司的一半，很难与第一位的约翰迪尔公司竞争。而在合并之后，凯斯纽荷兰与约翰迪尔公司的市场份额接近，并且拥有行业中最大规模的国际化经销网络，增加了竞争优势。合并后的凯斯纽荷兰成为世界第二大农机生产企业，巩固了行业地位。

但是，由于合并后管理上的问题，凯斯纽荷兰前三年处于持续亏损的经营状态。同时，由于集团业务过于庞大和分散，凯斯纽荷兰公司与约翰迪尔公司在合并之初拥有的市场规模相近的竞争优势已经不复存在。直到 2005 年，凯斯纽荷兰公司宣布将公司重组为 4 个部门，即凯斯 IH 和纽荷兰农机品牌以及凯斯和纽荷兰工程机械品牌，以此来重新划分集团子公司的业务定位，改善管理上的缺陷，走出了合并后的低潮。目前，凯斯纽荷兰成为稳居世界第二的跨国农机企业。

3. 产品互补，覆盖全球市场

凯斯纽荷兰的产品市场广泛分布在北美和西欧地区，而且两个地区分布比例较为均衡。这种分散而平均化的市场分布状况是因凯斯纽荷兰由位于美国的凯斯公司和位于欧洲的纽荷兰公司合并而成的历史特点决定的。两家公司的合并拓宽了整个集团的市场分布，并使得公司的产品地域分布和优势产品的种类达到互补。在合并之前，纽荷兰公司一直不能成功打入美国市场，而两家公司在不同地区不同领域的产品都有很高的覆盖程度。合并后凯斯纽荷兰公司迅速扩大了相应的市场覆盖面积和产品种类，对全球化进程起到了积极的作用。

凯斯的大功率拖拉机和收获机械在北美市场享有一定的声誉，而其他系列拖拉机、青饲收获机等产品，纽荷兰则有较大的特长。从业务分布来看，凯斯的产品在北美、南美、拉美、东欧已得到用户的广泛认可；而纽荷兰的产品则在巴西、非洲、中东、日本、东南亚等地区有稳固的基础，并同时在墨西哥、中国、土耳其等国家和地区有合资工厂。所以，纽荷兰和凯斯合并，可以充分利用相互

的产品和市场资源、销售渠道，不仅扩大了市场覆盖面，还显著降低了生产运营成本，成为稳居世界第二的农机巨头。

19.1.3 爱科公司——资本纽带，聚合多元品牌资源，跨越式发展

爱科公司于1990年成立以来，以投资管理集团为依托，迅速收购了许多世界著名的农机生产企业，如芬特（Fendt）、麦赛福格森（Massey Ferguson）、维美德（Valtra）和挑战者（Challenger）等。经过多年的发展与收购，爱科公司由1990年成立之初销售额2.2亿美元的规模发展到2010年70亿美元的市场规模，跃居世界第三大农机生产厂商，走出了一条以资本为纽带，聚合国际知名农机品牌资源，跨越式发展的成功道路。与约翰迪尔和凯斯纽荷兰公司不同的是，爱科公司的业务主要集中在农业与草业装备市场，并不涉足工程机械和其他商业机械领域。其主要市场在北美地区以及欧洲、非洲、中东地区等。近些年来爱科公司的成功发展和快速扩张充分体现了资本策略的重要性。

首先，爱科公司采用在不同地区主打特色品牌的市场开发策略。爱科公司旗下主要有四个核心品牌——麦赛福格森、芬特、维美德和挑战者，它们分别在不同区域和不同领域有着很高的市场份额。芬特公司是一家著名的欧洲农机企业，在欧洲农机市场享有盛誉，保证了爱科公司在欧洲市场的很大份额。在北美市场，公司旗下的麦赛福格森、挑战者一直是该地区市场的两个主力品牌，其中挑战者公司是爱科公司从全球著名的工程机械公司卡特彼勒（Caterpillar）收购的一家大功率拖拉机公司，其大型拖拉机的动力和质量一直在美国业界有很高的美誉度。爱科公司在不同地区内，以收购或联营的方式迅速吸纳当地品牌，通过品牌的号召力和良好的管理方式有效地拓展了市场。

其次，爱科公司在发展中国家的市场开发战略为企业在新兴市场带来了良好的品牌形象，使企业从中获得巨大的收益。根据近几年年度报告显示，爱科公司在南美地区的销售增速显著，净销售额甚至接近公司的核心市场北美地区的份额。这是因为爱科公司在南美区域的主要市场——巴西拥有竞争力较强的维美德品牌，而维美德公司在巴西的市场份额和产品信誉在同行业中处于优势地位。不仅如此，瞄准巴西是全球甘蔗主产区并且也是世界上最重要的生物能源原料国的需求，2005年维美德公司参与了巴西的一项政府生物能源项目，这是当时第一个也是唯一一个参与巴西生物能源项目技术的跨国农机企业。事实证明，爱科公司在巴西市场的策略取得了巨大的国际化成功。

19.1.4 克拉斯公司——培育核心竞争力，打造国际化专业品牌优势

德国克拉斯公司（Claas）创建于1913年，是世界著名的农牧业机械和农用车辆制造商，产品主要包括联合收割机、自走式青贮作物收获机、甘蔗收获机、拖拉机、割草机、搂草机、翻晒机和打捆机等。此外，克拉斯还生产农用牵引车辆，研究农业信息科技和精准农业技术，汽车及航天工业机械制造系统的部件等。克拉斯公司擅长生产谷物、牧草收获机械，属于收获机械行业的领导者，在行业中享有“收获专家”的美誉。

自该公司创立起，为满足农艺要求及耕作制度的变化，不断推出与之相适应的性能好、质量高、可靠性强及维修保养简便的农业机械是克拉斯公司产品始终居于领先地位的原动力。克拉斯公司拥有先进的制造设备，一流的制造工艺和独立的零配件供应系统，保证用户随时随地享受高质量的产品和优质、及时的售后服务，该公司以严谨的管理理念、强大的科研开发体系在世界农机制造行业中独树一帜。截至2010年，克拉斯在包括德国本土在内的法国、美国、俄罗斯等12个国家和地区建立了生产基地或销售公司。克拉斯科技创新国际化模式成功的原因可归纳为以下几个方面：

1. 重视持续技术创新投入

克拉斯公司研发投入占销售收入的比例大，保持了其产品的领先地位与企业创新能力的不断提高。先进设计方法的运用使得产品的设计周期越来越短，有力地占据了市场，取得了较好的收益。尽管由于经济危机的影响，2010年销售收入24.755亿欧元，比上年下降14.7%。然而，其研发投入在销售收入中所占的比例却依然从2009年的4.4%提高到了2010年的5.1%，达到1.252亿欧元，这也是充分体现国外农机国际化大企业利用机遇提升储备技术的最好例证。

2. 采用国际网络化研发模式

遍布世界各地的研发工程师通过互联网、视频会议等远程实时通信工具定期沟通，交流经验，强化合作，保证思路的开阔和工程项目的连贯性。研发人员通过研发讨论会可以获得大量的信息，有力地推进了研发项目的进程。通过这种方式，可以实现产品的并行协同设计，降低研发成本，缩短研发周期。

3. 采用本土化产品开发战略

克拉斯采用区域化产品设计生产策略，根据不同地区的土地及农作物特点，设计生产本地化的配套农业机械产品，使得其产出的农具具有区域针对性强和适

应性好的特点，深受用户青睐。

4. 拥有稳定的国际化研发团队

截至 2010 年 9 月，克拉斯的员工总数为 8 968 人，其中海外雇员比例高达 44.1%。员工的国际化确保了克拉斯与海外的农机科技发展保持同步并能对市场变化作出快速反应。克拉斯员工政策的核心是连贯性和企业认同，这两点提高了雇员的忠诚度并形成了稳定的职业发展机会。另外，克拉斯还为员工构建利于保持“工作-家庭”平衡的工作制度以及积极推进员工健康计划，充分体现了“以人为本”的特色。

5. 重视企业国际化人才储备

克拉斯大力推行实习生计划，以德国本部为例，实习生占全职员工的比例高达 8.5%。实习生计划的主要目的是培训克拉斯未来的管理人才，同时激励这些潜在的管理者对公司形成长期的兴趣，并愿意为之而奋斗。同时，克拉斯与世界各地的大学也保持密切的联系，在一些大学还设立了相关的奖学金，寻觅未来的合格职员。

19.2 跨国农机企业中国化发展的策略分析

跨国农机企业中国化发展的进程基本上都经历了先卖产品进入、转让技术融入、合资建厂站稳、全面收购占领、业务拓展扩大等阶段，采取“分步走”的策略，也充分体现了跨国公司开展国际化创新发展的基本思路。下面以约翰迪尔公司和久保田公司为例，分析典型著名跨国农机企业在规模化发展的大型农业机械和水田中小型机械技术方面中国化创新发展的策略。

19.2.1 约翰迪尔公司中国化发展策略

约翰迪尔在中国的发展过程中，针对中国市场的独特需求进行了农业机械科技和经营理念的创新。其产品的研发由中国研发团队主导，并集合中国、欧洲和美国的研发力量，体现出约翰迪尔在技术创新上全球研发的优势。同时，其投放市场的产品在价格制定、售后服务等方面，逐步深刻了解中国用户需求，不断发现市场机会，让客户得到优质服务和实现约翰迪尔产品对中国市场的量身定做，这也是海外企业成功的本土化方略。2010 年，约翰迪尔在中国实现了创纪录的销售，中国也成为约翰迪尔全球业务中增长最快的地区。目前，约翰迪尔又密切结合 2011 年中央一号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》的

出台，加快其水务公司在中国的业务布局。正是基于对目标市场及需求的深入了解，基于约翰迪尔不断更新的技术进步，约翰迪尔牢牢占据着农机企业世界第一的地位，这也是我国农机企业进入国际化时需要思考的一个重要方面。约翰迪尔中国化的发展策略见表 19-1。

表 19-1　约翰迪尔中国化的发展策略

发展阶段	战略定位	主要工作进展
Ⅰ（1978 年—1981）	先卖产品进入市场	1978 年北京国际农机展上约翰迪尔产品首次亮相，我国政府一次性购买 7 台（套）拖拉机和配套农具，花费 100 多万美元；友谊农场三年使用，得到了好评
Ⅱ（1982 年—1996）	转让技术融入市场	1982—1983 年，向佳联和开联转让先进的联合收割机技术；向天拖、长拖和沈拖转让先进的拖拉机技术
Ⅲ（1997 年—2003）	合资建厂立足市场	1997 年，成立约翰迪尔佳联；2000 年，成立约翰迪尔天拖
Ⅳ（2004 年—2004）	研发机构完善市场	2004 年和 2005 年成立天津产品研发和拖拉机配套产品制造公司
Ⅴ（2005 年—2009）	全面收购占领市场	2005 年，全部收购佳联；2007 年，收购宁波奔野
Ⅵ（2010 年—今）	业务拓展扩大市场	2010 年，建立了农业机械测试中心，开展农机具的业务，并成立了约翰迪尔中国水公司，制定了详细的水业务发展规划

约翰迪尔自 1978 年进入中国后，以收购和合资的形式，已经组建了约翰迪尔佳联、约翰迪尔天拖、约翰迪尔宁波奔野三家公司，在中国市场步步为营，沿着我国东部较为发达地区的边境线，从北向南，从深度到广度切开了中国市场这块蛋糕，其国际化发展历程可以为我们提供借鉴。

1. 首先卖产品，进入市场

1978 年，在北京举办的农机展览会上，约翰迪尔的产品在中国首次亮相，在这次展览会上，我国政府一次性购买了 7 台（套）约翰迪尔拖拉机和配套农具，共花费 100 多万美元。在黑龙江农垦总局友谊农场组建机械化示范基地，经过三年的使用，得到了肯定，从而翻开了约翰迪尔进入中国的第一页。

2. 转让部分先进技术，融入中国市场

瞄准东北地区适合其技术和产品发展的条件，1982—1983 年，约翰迪尔公

司向黑龙江省佳木斯联合收割机厂和河南省开封联合收割机厂转让其先进的联合收割机技术，向天津拖拉机制造有限公司、沈阳拖拉机厂、长春拖拉机厂转让先进的拖拉机生产技术。

3. 合资建厂，立足中国市场

1997 年，与佳木斯联合收割机厂合资建立约翰迪尔佳联收获机械有限公司，其主要生产大、中、小型联合收割机。选择联合收割机与佳木斯联合收割机厂合作，主要出于两个方面的考虑：第一，那时联合收割机市场已经起步，约翰迪尔的产品在黑龙江农垦方面开始打开销路；第二，当时佳木斯联合收割机厂已具备了一定的批量生产能力和国内市场的知名度。

2000 年，约翰迪尔与天津拖拉机制造有限公司合资成立约翰迪尔天拖有限公司，约翰迪尔天拖主要生产 44.1 ~ 88.2kW（60 ~ 120 马力）的轮式拖拉机。当时可供选择的合资对象有洛拖、天拖和常拖，最终选择天拖是因为天拖所在城市天津是港口城市，产品及零部件的进出口比较方便。而选择 44.1 ~ 88.2kW 段则是经过对当时中国市场的详细考察得出的发展阶段判断。

4. 建立研发与配套机构，完善市场

2004 年，约翰迪尔（天津）产品研究开发有限公司成立，即为约翰迪尔的中国研发中心。该研发机构负责开发农机设备及相关零部件，并提供技术咨询和服务。该研发中心同时还拥有一支优秀的采购及供应商开发和质量控制队伍，负责整合约翰迪尔在中国的战略采购和供应商开发工作，并配合工程技术人员进行供应商质量控制。

2005 年，约翰迪尔（天津）有限公司成立。该公司采用最先进的技术、设备和工艺，制造与全球约翰迪尔系列拖拉机相配套的变速箱动力传输系统，产品供应约翰迪尔公司旗下的中国、美国、德国和巴西工厂。

5. 全面收购，占领市场

约翰迪尔与佳联合资之后并没有急于大兴土木，首先是把其先进的管理制度、经营理念和经验引进、消化、吸收。该公司相继引进“5S 管理”“零缺陷管理”等先进管理思想，在国内同行之中率先与国际接轨。近些年来，约翰迪尔佳联在一种近乎“保守”的战略指引下，一直保持着稳步发展，其相继推出的主导产品 3060、3070、3080、1042 等型号的收割机取得了可观的业绩。2005 年 8 月，完成了对约翰迪尔佳联中方股份的全部收购。

2007 年，收购宁波奔野拖拉机汽车制造有限公司成立新的约翰迪尔（宁波）

农业机械有限公司，主要生产 14.7～40.450kW（20～55 马力）的拖拉机，这也是基于中国国情、依据条件而决定的。

6. 进一步拓展业务，扩大市场

2010 年，约翰迪尔在天津成立了农业机械测试中心，启用了位于天津的约翰迪尔中国零件物流中心。约翰迪尔佳联收获机械有限公司更名为约翰迪尔（佳木斯）农业机械有限公司，推出了 R40 履带式水稻收割机、Y215 自走式玉米收获机和 1030 播种机，这也是本土化适用性的具体策略，进一步扩大了约翰迪尔在中国市场的经营领域。

19.2.2 久保田公司中国化发展策略

日本久保田公司创建于 1890 年，是日本最大的农机制造商，也是全球排名第四的著名农机制造企业。久保田于 1998 年 9 月进入中国，10 多年来，凭着公司发展战略的正确稳健和本土化策略的得当有力，久保田在中国市场交出了一份令人艳羡的成绩单。近 1 000 名职工在 3.8 万 m^2 的车间内，凭着 3 条生产线，创造了 22 亿人民币的销售额，如此效率在中国农机行业几无出其右者。久保田能“赢在中国”，与它在中国的发展战略、对市场的洞察决断、产品的改进与适销对路密切相关。

1. 选好机遇，抓住时机

1998 年的日本，经济上正处于“失落的十年”之中，企业要走国际化道路并不容易。但是当时日本已经成为世界农业机械制造技术最先进的国家之一，要让本国农机市场进一步扩大，有着不少困难，于是久保田决定进入中国。久保田抓住了好时机，中国作为世界最大的农业大国，农业机械具有广阔的市场空间和良好的发展前景。从外部政策环境看，彼时的中国正兴起外资、外企进入的热潮，从上到下各地出台了各种优惠政策千方百计引进外资。东部沿海地区成为外资进入的热土，各种资本、廉价人力也快速大量聚集。同时，粮食问题仍然是全球最重要的经济安全问题，粮食增产是我国政府高层最为重视的问题之一，作为粮食生产的重要保障手段，农业机械发展成为必然的选择。国家城镇化战略的实施，又使大量的农村剩余劳动力蜂拥向城市，为农机替代劳动力提供了必要条件。此后我国政府逐步加大了各项农业补贴力度，大力扶助农机工业和农业机械化发展，成为我国农业机械产业发展的黄金时期，补贴不分内外资品牌，这为包括久保田在内的农机制造企业再次创造了腾飞的契机。

2. 选好市场，定位准确

进入中国之前，久保田公司已经对中国这个粮食生产和需求大国作了深入细致地调查研究。当时，我国第一大农作物水稻的综合机械化水平低于2%，特别是水稻机收、机插秧均处于几乎空白的水平，即使现在水稻机械也面临着巨大的缺口。可以说，进入中国伊始，久保田就找准了中国市场，即半喂入联合收割机市场这块技术高、利润高的“蓝海”。通过调查，久保田了解到苏浙沪是我国水稻主要产区，总面积为468万hm^2，占全国总面积的15%，而这个地区为温带季风气候，收获季节多风多雨，致使湿田烂地多，稻谷水分多，倒伏面积大，是我国典型的水稻高产、高秆、高含水率、高湿烂田的“四高”地区。另外，苏浙沪经济基础较好，购买力较强，且充分利用劳动力资源的要求较高。根据这个情况，久保田公司选择在中国具有巨大潜力的收割机进入中国市场，并且从苏浙沪开始突破。

3. 拳头产品，精品路线

今天，人们一提起久保田，首先会联想到收割机、插秧机，这正是久保田进军中国市场最巧妙的技术与品牌营销战略决策。久保田农业机械（苏州）有限公司成立以来，不断强化品牌溢价能力，走了一条高档精品路线。在一个没有太多品牌意识的行业，久保田率先开展“品牌化营销”，由于市场精准定位，品牌甚至成为品类的代表。久保田最初进入中国市场时，就选择了最具竞争力的产品，即半喂入联合收割机的强势品类。近年来，随着收获机械市场的进一步细分，久保田又选择高端全喂入收获机参与市场，主要考虑到：一是中国市场保有量大，全喂入收割机年产量在2.5万台左右，已到了产品升级换代的时候，市场将被进一步细分。二是久保田产品技术与国内产品技术差异化成分高，符合中国政府和用户对新技术引入的需求，特别是油菜、稻麦三用途提升了技术档次和增加了用户投资收益。三是久保田产品突出满足较高端用户这个细分市场。全喂入收割机引入了半喂入收割机的设计理念，其中最关键的无级变速技术，其“不亚于奥迪车”；脱粒清选系统采用了纵向轴流技术，脱粒负荷梯度分布，清洁度高，破碎率低，具有与半喂入联合收割机几乎同样的脱粒清选效果，一天最高能收割180亩。

4. 用户难题，孕育创新

用户难题正是孕育创新发展的动力。日本久保田农机进入中国市场的13年，就是13年的创新历史，13年创品牌的历史。久保田通过不断的中国化适应性改

进，使其产品在整机结构和作业性能上远远优于其他同类型机械。久保田农业机械（苏州）有限公司始终将用户难题作为创新命题，加以研究、攻关。针对中国农村特有的小田块、田埂多、多烂湿、跨区作业、作业时间长以及农民价格承受力低等难题，公司对专门设计的机型进行改进，重点是降低整机质量，适合高湿烂田的轻型平衡，从而提高整机田间适宜性。

5. 本土生产，多元推进

为了加快推进中国的市场发展，久保田公司在农机产品生产成本和销售价格方面进行了系统统筹，如果从日本直接进口原装久保田农机，则每台收割机需要付出 35 万元，农村的经济水平还很低，日本产品只有降低将近一半的价格，才有可能在中国打开较大的销路。通过在中国设厂，很快实现了半喂入联合收割机零部件国产化 85% 的比率，让产品价格从 35 万元下降到了 20.6 万元。这样的价格较好地应对了中国农村的需求，让久保田的农机有了比原装进口要大出许多倍的销售量。目前，久保田步行插秧机的国产化比率已经达到 100%，联合收割机中除了发动机、变速器以外也全部实现了国产化，国产化为久保田进一步增加在中国的产品内容打下了基础。

随着在中国市场地位的稳固、产品品牌的树立、本土化营销渠道的完善，久保田在中国的产品线愈加宽泛，产品更加多元化。很显然，这也说明久保田对中国市场更加熟悉、对在华事业的发展更加充满信心。在水稻收割机、插秧机方面打出品牌以后，也逐步考虑其他农作物的收割、移栽等新市场，谷物干燥机、大米冷藏库、蔬菜移栽机、蔬菜收割机、割草机等已经进入到了久保田苏州工厂的视野，并伺机推出相关产品。

总体来说，既稳健经营，又与时俱进，这是久保田在中国国际化发展的重要方略。自 2008 年以来，久保田根据市场需要，突破性地提出向综合性农机设备供应服务商转型。

6. 人力管理，“翁格玛利”效应

日本久保田在核心竞争力的人力管理上实行人力资本优先的投资战略，特别是要为全体员工发挥创造力提供一个平台，为员工在公司的创意、创新、创业创造一种全新的环境，努力实现人尽其才。久保田进入中国后，不但很好地引入了这种精神，而且比其他外国企业更放开、更大胆地使管理人员迅速本土化，激发“翁格玛利”效应。久保田农业机械（苏州）有限公司成立后，实践了与中国传统文化的结合，坚持“尊重人就得委以重用”的用人原则，有十分之才，交给

十二分的重担。同时，该公司还坚持内部聘才的原则，企业不管需要什么人才，基本上不外聘，一般都从内部提拔使用，使员工机会均等地得到锻炼机会。正是这种信任式的适合中国文化的管理，使进入中国的久保田农机获得快速发展。该公司从不对员工进行技术保密，即使是新招进的员工，也是毫无保留地把制造工艺和技术传授给他们，这样做使员工的归属感得到增强，从而自愿自发地维护公司的技术和商业秘密，因而从未出现技术泄密事故。目前，除了产品生产制造以外，久保田公司总部已考虑向中国转移技术并加强本土化研发的问题，积极推进苏州公司中方技术人员的整体培训计划，运用日本海外技术研修协会的培训体系，在日本政府的支持下不断培养中方人才，使他们将来能够担当公司重任。这也许是进入中国后使久保田农业机械（苏州）有限公司很快本土化并得以快速发展的成功所在。

由于中国市场、人力、品牌以及技术创新资源整合利用得当，苏州久保田已经越来越呈现出久保田“亚洲基地战略”中明显的“桥头堡”特征，其制造的产品不仅在中国同类产品中独占鳌头，还销往泰国、印尼、越南等多个东南亚国家和地区。当有的企业还在苦思冥想“一招制胜”的时候，久保田已经意识到“全面市场竞争能力”的重要性，人才、管理、执行以及相应的资金实力是最根本的基石，其将着力打造和完善四大保障体系，即企业战略保障体系、生产管理保障体系、产品生产技术与品质保障相关资源保障体系及市场营销保障体系。

第 20 章　我国农机企业国际化发展的机遇和挑战

20.1　我国农业机械科技创新国际化发展的机遇

20.1.1　国家强农惠农政策有效实施，具备良好的宏观发展环境

现阶段国家实行了一系列积极有效的惠农政策，连续 8 年的中央一号文件对农业机械发展的重视、支持、保护力度在加大。按照规划部署，国家支持各类所有制企业在境外开展技术研发投资合作，鼓励制造业优势企业有效对外投资，创建国际化营销网络和知名品牌。在国家“十二五”规划中又将多功能农业机械、高端制造技术确定为发展重点。总之，就生产环境、政策环境和市场环境而言，当前是促进我国农业机械产业从生产要素推动阶段、投资推动阶段，向技术创新推动型转变的发展阶段，是提升装备产业支撑农业的发展能力的最好历史机遇期。

20.1.2　国内多样化市场潜力大，具有本土先发优势

我国正处于全面建设小康社会、转变农业发展方式的关键阶段，农业机械制造业进入了重要战略机遇期。一是，保障粮食安全和食物有效供给始终是国家的重要战略目标，农业机械作为提高农业综合生产能力的重要工具，必定大有作为。二是，农机工业已具备了快速发展条件，国家支持政策不断加强和完善，工业化基础不断夯实，农民收入和购买力不断攀升，成为拉动农机市场需求的持久动力。三是，我国农机化已进入中级加速发展阶段，对各种农业机械从数量到质量上都存在巨大的需求。我国作为农业大国，区域自然和社会经济水平差异大，作物品类与种植方式的多样性、经济条件的适应性，使得我国农业机械本身技术发展范围宽，对多样化市场的适应性较强。国内农业机械技术研发紧密结合我国的农业生产实践，攻克难关，实施本土需求的农业机械技术创新，与跨国企业相

比，具有本土研发优势。同时，多样化的农业机械也具备填补单一形态大农机的优势。

20.1.3 跨国农机企业中国化发展，“溢出效应”产生了后发优势

基于我国的农机需求的巨大市场，世界前列的农机企业携带着农业机械技术和产品进驻中国，它们的农业机械技术经过长期的发展积累，质量精良，广泛采用先进设计制造手段，其控制智能化、操作自动化和作业精细化集成技术水平世界一流。尽管它们会实施技术保密措施，但技术本身的传播和辐射规律说明，技术落后国家在融合过程中，通过提高自身的技术创新能力，学习借鉴、消化吸收、再创新，完全可以实现技术的跨越式发展。我国应该立足于增强自主创新能力，抓住历史机遇，在引进消化吸收的基础上，推动农业机械技术创新的国际化进程。

我国农业机械技术处于世界垂直差异技术链条的中游，上可以吸收机械化先进国家的高精端装备技术的辐射，下可以将现有成熟的农业机械技术出口到机械化后进国家。先进的农业机械技术产品虽然功能强大，性能优良，但价格昂贵，而我国的农业机械产品具有性价比优势。通过与国际市场的接轨，与市场竞争对手的融合，吸收相关技术和管理经验，同时修炼内功，加快提高自身技术创新能力，我国农业机械技术完全可以实现升级发展。

20.1.4 国产装备拥有性价比优势，具备新兴市场国际竞争力

目前，世界范围内，仍然存在大量农机化刚起步或者处于农机化初级发展阶段的国家和地区，这些国家的农机产品市场具有较大的增长空间。东南亚各国对小型、低层次农机需求量很大，非洲各国农机存在着从零增长的潜力。另外，农机技术进口依赖型国家的农业机械到了更新换代时期，南美和东欧国家所需农机主要为进口机型，而东欧国家农机装备处于历史性的大更新阶段。这些国际市场空间给我国农业机械技术走出去提供了历史性的机遇。

伴随着农机化发展的需求，我国农业机械发展很快，水平不断提高，初步形成了较为健全的农业机械体系。比如中小拖拉机、耕作机械、播种机械、联合收获机械，在主要粮食生产过程中，已经实现了生产方式从人畜力到机械的转变，正向着自动化、智能化方向发展。其他领域的装备技术也得到了不同程度的发展，农业机械的技术发展具有了一定的基础。以中国农业机械化科学研究院、中

国一拖、福田雷沃重工等为代表的一批大中型农机企业具有了一定的技术储备，而且已经将产品出口到东南亚、南美、东欧等地区，产品具有明显的价格优势。

多年来，我国经济保持了持续快速发展态势，特别是经受住了全球性金融危机的严峻考验，毫无争议地成为全球最为稳健的新兴经济体，引发了新一轮国际资金、产业、人才、技术等资源抢滩中国的浪潮。当前，国家统筹工业化、城镇化、信息化和农业现代化发展，这期间，必将是中国市场农机企业快速发展的时期，也是竞争更为激烈的时期，我国的农业机械企业如何立足国内基础、充分吸纳国际资源，开拓国际市场，既是机遇也是挑战。国内农业机械企业必须要充分把握和利用好国家强农惠农政策，实现内部强优强大、又好又快，外部拓展领域、国际化发展，才能在国际竞争中占有一席之地。

20.2 我国农业机械科技创新国际化发展面临的挑战

20.2.1 农机产业集中度低，整体国际竞争能力亟待提升

经过50多年发展，我国农业机械逐步形成了比较完善的产业体系，能够生产9大类14小类3 500种农机产品，国内市场供给率超过90%，农机工业总产值达到2 838亿元，成为世界第二农机制造大国。但是，从企业数量和规模看，企业总数超过8 000余家，规模以上（年产值500万元以上）农机企业达到2 700余家，由此可以看出，农业机械制造业作为规模效益型产业，在我国长期以来未能按这一经济规律组织大批量集中生产，低水平同质化重复制造严重，企业组织结构散乱，经营规模小，总体上未能形成一批具有较强国际竞争力的大型企业和企业集团，未能形成专业化协作强、配套能力高的产业集群，大企业不强、小企业不专。无序竞争导致产品单一、质量性能不稳定，国际市场中整体竞争力较差。美国约翰迪尔一家企业，2010年产值达近1 500亿元，超过了我国规模以上企业农机工业总产值的半壁江山，利润水平是我们行业平均值的2倍。

20.2.2 跨国企业加快抢占国内市场，国内农机品牌发展压力巨大

欧美发达国家的农机装备技术实力雄厚，市场竞争力明显。近年我国政府大幅度增加农机购置补贴投入，国内农机市场商机凸显。国外从事农业机械的重量级跨国公司纷至沓来，凭借雄厚的资本与先进的制造技术，它们或者独立建厂进行本地化生产，降低产品成本；或者兼并收购国内优质企业，借机快速占领中国

市场。国际大公司的长期战略旨在垄断市场、赚取超额利润。我国以自动化和智能化为引领的高端农机技术产品及其核心零部件、特殊材料长期依赖进口，大型农场每年进口 400 余套大型农机装备。事实已经证明，这种现象值得警惕和反思，一味靠引进国外产品支撑主要粮食产区的机械化作业，一方面，使我国粮食生产安全存在着巨大的潜在危险；另一方面，很难解决我国多样性种植模式、复杂自然条件、多元经济的精耕细作农业生产。没有国产Ⅱ型联合收割机的技术突破，就不可能有跨区作业解决小麦收获的成功，广大的丘陵山地至今仍缺乏适用机具，就是很好的例证。

20.2.3 大量规模企业缺乏核心技术储备，难以与国外企业抗衡

长期以来，我国农业机械产业适应农村低收入农民群体、比较效益低下、全行业平均利润不足 5%，计划经济时代十次降价，加之去掉钢材市场计划，始终处于低利运行，缺乏研发的资金投入能力。购机补贴时代，新加入的多数企业还没有掌握行业关键性和前瞻性技术、缺乏创新开发的人才与经验。同时，知识产权保护管理与运用能力不足，基本还只是处于技术防守的层面，根本谈不上实施专利战略、构建具有竞争力的专利群。虽然专利申请量大幅增长，但绝大多数专利是实用新型，况且还主要集中在农林种植等传统农业机械技术领域，信息智能化等新技术发展方向的专利较少，与美国和日本等国外企业发明专利比例高的状况差距较大。如 1985 年久保田、井关分别在我国申请的 134 件和 68 件专利全部是发明；1986 年约翰迪尔申请的 68 件专利中发明 58 件；1995 年洋马申请发明专利 115 件，其中实用新型专利仅 7 件。在技术标准方面，我国农业机械标准体系结构基本形成了与农业生产需要的产品相适应的体系，常规使用的农业机械技术标准已基本配套。但在标准体系中以中小型农机具为主，与大功率配套的农机具标准相对较少；农机具与农艺之间标准化协调性差；现有标准结构老化现象严重，已不能适应新产品、新技术发展的需要，甚至阻碍、制约升级换代产品的应用；粮食作物机械标准制定、修订较全，经济作物等其他机械标准缺少；整机应用标准多，零部件技术标准少，零部件通用性和互换性差。与国际和国外先进标准尚不接轨，国际标准采标率仅 70%，极大限制了农业机械国际化发展和国际竞争力的提升。

20.2.4 国际化发展基础薄弱，亟须加大新市场开拓力度

尽管近几年我国农业机械产品出口增势强劲，但出口额相比其他国家仍然较

低。我国农机产品的国际市场占有率偏低，年出口额只占国际主要农机市场的6%左右。我国出口的农机产品主要是中小型农业机械，拖拉机和收获机械出口额所占的份额很小。中小型农业机械的国际市场空间主要由日韩企业占据，我国农机产品虽然具有价格优势，但产品质量性能和产品种类都与这些国际市场先入者之间差距较大。所以如果不实施我国农业机械技术创新，产品优势将不明显，开拓国际市场空间的难度较大。

虽然我国的农机企业已经开始走出国门，将产品出口到了一些后进机械化国家和地区，但多年来，我国农机在这些地区的销售零星分散，没有形成规模，缺乏知名品牌，缺乏与当地条件的适应性改进。有时还相互压价，抢占市场份额，内部自相竞争，还没有达到集成输出的程度。在国际化道路上，提供良好的技术和售后服务是巩固现有市场、开拓新市场的必要前提，但目前国际化的销售和维修网络基础薄弱，加上单个企业走出去缺乏实力，试验、宣传及培训工作开展困难。同时对外国农机需求的相关信息获取困难或滞后，对市场把握不准，反应较慢，开拓新市场困难较大。

20.2.5 国际化智力资源匮乏，亟须加强国际创新人才吸引能力

长期以来，农业机械制造业利润微薄，从业人员待遇平均水平低于其他工业行业30%左右，农机学科萎缩，大学生源不断减少，农机专业几经调整甚至消亡，高层次研究后继人才奇缺，未能形成有影响力的稳定创新队伍。调查发现，全国现有大学中，46所农业院校保留了农机与农机化专业，一级学科“农业工程”博士授权点仅为8个，“农业机械化工程”二级学科博士授权点14个，硕士授权点31个，每年培养本科生1 400余名，硕士生400余名，博士生100余名，毕业的学生中不到1/10从事农机工作。没人愿学，学而不干，也无从谈起进行广泛的国际化交流与合作。目前，国家虽启动“千人计划”引进了一大批高层次人才，显著增强了科技竞争力，但是，鲜有专业高层次人才加盟我国农机行业。

20.3 我国农机企业在科技创新国际化方面的探索

为积极应对跨国农机企业的市场抢占，近年来，国内主要农业机械企业也纷纷加快了科技创新国际化发展的步伐，并探索形成了各自不同的发展模式与道路，在走出国门的过程中也壮大了自身，在国际农机装备市场中占有了一席

之地。

20.3.1 中国一拖集团——以我为主，两头在外

中国一拖集团的国际化战略是从20世纪80年代技术引进开始的。当时根据我国拖拉机技术发展的需要，中国一拖从意大利引进了先进的轮式拖拉机技术，从英国引进了先进的柴油机技术，并坚持进行消化吸收再创新。经过20年持续消化吸收和持续创新改进，中国一拖形成了符合我国用户使用习惯、适应我国国情的系列产品，由此掌握了拥有自主知识产权的大轮拖技术，实现了从柴油机、车桥、变速箱、覆盖件等关键零部件到整机产品的全面领先优势，并搭建了我国大轮拖产品的技术平台。中国一拖生产的“东方红”产品不仅是可以全系列覆盖44.1～147kW（60～200马力）功率段的大轮拖品牌，也是国内最畅销和保有量最大的大轮拖。中国一拖的大轮拖已经可以有效替代进口产品，早在2008年就实现了批量出口。

在完成对国外拖拉机技术的消化吸收后，中国一拖就开始瞄准欧洲21世纪轮式拖拉机技术水平，开展新一代大轮拖产品的研制。2007年起，中国一拖与国外的研发机构合作，加快实施促进我国大功率拖拉机更新换代的“PST项目”。从而实现了“从单纯购买技术到联合研发的变化”，即“以我为主、合作开发”“两头在外”。利用国外智力资源，产品设计最初的概念设计及最后的样机功能试验定型由海外研发机构在国外实施，弥补国内手段的不足，核心部件和中间的生产环节则由中国一拖主导。目前，中国一拖与国外研发机构合作开发的大功率拖拉机已完成样机试制和试验，新一代K系列重型柴油机也已完成产品研制。

在努力掌握核心技术的同时，中国一拖已经着手在全球范围内引入拖拉机整机控制技术、柴油机电控技术、传动系统无级变速技术等方面的高层次人才，建立核心人才梯队。同时，加强与国际知名零部件供应商的合作，整合研发流程、同步开发，缩短研发周期。2011年，中国一拖集团成功收购了法国McCormick公司，获得其动力负荷换挡技术、专利技术、制造技术资源，提高了国产动力负荷换挡传动系的制造能力，成为新中国成立后中国农机工业首次以收购世界级农机企业方式，实现科技资源国际化的实际行动。

20.3.2 福田雷沃重工——市场先导，整合创新

自2006年开始实施国际化战略以来，从整合创新到技术研发国际化，再到

销售网络覆盖全球目标市场，福田雷沃重工一步一个脚印，国际化步伐快速而稳健，瞄准市场在价值链的各环节赢得国际化竞争优势。

为了确保技术与世界同步，同时使开发出的产品更适合欧美等国际市场的需求，2006 年，福田雷沃重工在美国和意大利分别设立了“欧美技术整合中心”，与包括国际工程机械巨头利渤海尔公司在内的欧美产学研机构进行合作，跟踪世界前沿技术。借助国际市场的技术资源优势，不但实现了公司在研发领域与世界同步，而且加快了福田雷沃重工的国际化进程。

在实现技术、供应链与世界同步的基础上，福田雷沃重工还将海外营销网络的构建与服务网络的打造放在同等重要的位置。从走向海外初始，福田雷沃重工就对海外服务网络体系建设进行了规划。其中，起步阶段为委托服务，公司对海外经销商的服务站进行服务授权，委托其全权负责公司产品的服务。随着公司海外业务量的迅猛增长，海外服务升级到了技术支持下的代理服务阶段。

目前，福田雷沃重工的海外服务已步入建立完善的售后服务体系的第三阶段。通过在重点区域建立售后服务中心，目前已建成了由 300 多家销售服务商组成的覆盖 118 个国家和地区的“销售、服务、配件供应、用户培训与信息反馈”五位一体的全球营销服务网络体系。

在全球化战略方面，2011 年福田雷沃重工通过技术开发流程和开发团队与国际接轨，实现了产品水平与国际接轨；通过营销模式的创新，稳步提高海外业务能力，打造有全球竞争力的终端业务平台，形成与全球化相匹配的产品、网络、组织和运营能力。

20.3.3 东风农机——借力研发，市场国际化

东风农机集团公司向来重视国际市场的开拓和成长。在开拓国内市场的同时，大力拓展海外市场，强势发展外销网络，努力打造东风品牌。坚持全球化市场理念，采用与经销商、代理商合作的方式，国际市场出口国家达到 105 个，外商客户数量达到 165 家，其中 42% 登陆欧美等主流市场，产品自营出口占 92%。东风农机注重知识产权的保护，产品商标已在 69 个国家和地区注册或申请注册。

为在海外建立自己的渠道和网络，掌握国际市场第一手信息，进而依靠先进的技术、过硬的质量和完善的服务，打响自有品牌，赢得与国际品牌抗衡的能力，2010 年东风农机投资 300 万欧元，在德国成立了东风欧洲公司，借助国际资源，加快提升公司的设计制造水平，真正实现东风产品的“欧化”，以符合国

际市场要求，同时有效带动公司研发团队整体素质的加快提升。目前已经在德国聘请拖拉机专家开展新机型的 EEC 论证准备工作，并对东风现有客户进行梳理和进行销售网络建设，同时与欧洲知名快递公司合作建立起配件中心。

近年来迅速提升的国际市场份额，充分显示了东风农机国际化市场战略的显著成效。其 18.4～44.1kW（25～60 马力）轮拖产销量和出口量 2008—2010 年间连续三年均居行业第一，手扶拖拉机出口居行业第二。2009 年获国家质量监督检验检疫总局认定的“出口工业产品一类生产企业”，2010 年“东风牌”成为商务部机电商会“推荐出口品牌”。

20.3.4 中国农业机械化科学研究院——科技先行，集成输出

中国农业机械化科学研究院作为农业机械领域综合性研究开发机构转制的创新型企业，一直十分注重国际科技化合作与交流，通过开展前瞻性技术共同合作，建立联合研发中心，凝聚培养了一批具有国际视野的人才。同时，与加拿大、巴西等开展国际前沿技术合作，还在非洲等地建立集优良品种、机械化种植的示范农场。为在高技术与发达国家国际化联合研发、成熟技术集成化输出方面迈出更大一步进行的积极尝试。

中国农业机械化科学研究院依托综合优势，承建了我国政府援助津巴布韦的农业技术示范中心建设项目。该项目于 2009 年 10 月开工奠基建设，历时两年，2011 年 2 月成功建设落成。该中心主要进行玉米、小麦、蔬菜等农作物品种的试验研究，筛选适合当地条件的优良品种；进行配套高产栽培技术研究，将新品种、配套栽培技术与农机装备集于一体，达到农业生产高产、优质、高效、生态、安全的目的；并开展新品种、配套栽培技术以及农业机械的使用、维护及维修技术培训。通过示范中心配套国产农业机械的生产使用，使非洲农民直观地了解我国先进实用的农业生产技术和农机产品，打造了我国农机企业集成技术走进非洲的国际化新模式。同时，在委内瑞拉建立了包含水泵制造、农产品加工装备制造等制造工厂，开创了我国农业装备领域集成产品技术和制造技术服务于海外业务拓展的先河。

随着全球经济一体化的深入发展，我国已不可避免地成为国际化农机市场的重要战略区域，我国的农机企业即便不走出国门，依然面临着残酷的国际竞争。我国的农机企业必须充分利用国家加快产业结构调整的机遇，加快产业链各环节的资源整合，壮大企业规模和综合实力，实施国际化技术创新发展战略，依靠科

技创新，从根本上提升国际竞争力。

20.3.5 山东常林——合作创新，准确定位

山东常林在加强自主创新、运用高新技术改造提升传统产业的同时，从20世纪90年代开始，大力实施国际化发展战略，与意大利、德国等知名企业展开合作。与意大利赛迈道依茨-法尔公司合作的高端智能农业装备项目，主要生产大马力拖拉机、联合收割机等，同时借助赛迈道依茨无极变速箱专利技术以及中川液压的先进生产设备，开展轮式机械无极变速箱的研发与生产，是我国最早生产非道路用无极变速箱的生产企业；与德国道依茨公司合作的高端发动机项目，主要生产22.1～73.5kW（30～100马力）道依茨系列多缸柴油发动机，达到tier Ⅱ-Ⅳ排放标准；依托铸造产业优势，建设的高端液压项目，致力于为全球机械提供可靠、高效、环保的传动解决方案，2012年由中川液压自主研发生产的液压泵、阀、液压马达等高端液压产品顺利通过国家级鉴定。产品已达到市场主导产品国际先进水平，已掌握其核心技术，具备了产业化条件，打破了国外垄断。

经过70年发展与积淀，山东常林成为全球最大的手扶拖拉机生产与制造基地、中国机械工业百强企业，“沭河”品牌和商标分别为中国名牌和中国驰名商标，近年来通过国际化发展战略，产品出口亚、非、欧、美、澳等60多个国家和地区。

第 21 章　我国农机行业国际化发展的战略选择、对策措施和政策建议

21.1　我国农机行业国际化发展的战略选择

农业机械产业的世界格局符合国际贸易理论的垂直差异产业贸易模型，按照技术和质量高低将农业机械技术和产品排列已经成为一个垂直差异性链条。以北美和西欧国家为主的已实现农业机械化的发达国家，农业机械技术水平最高，处于链条的最高梯次，出口高端技术和优质产品。处于第二梯次的是机械化水平中等的发展中国家，以中国、南美国家、东欧国家为主，农业机械技术水平中等，进口欧美和日韩国家的高端技术，同时将中等技术的农业机械产品出口到处于产品链下游的国家和地区。这些国家机械化发展处于中级加速阶段，内在市场需求强劲，发展势头迅猛。第三梯次是东南亚和非洲诸国，农业机械化水平较低，尤其是非洲刚刚起步，农业机械制造水平较低，产品缺乏，技术创新能力也较弱。这些国家的农业机械技术主要依赖进口，受经济水平限制，高端农业机械技术进口量微乎其微，市场需要的是价格低廉、质量稳定的农业机械技术。

尽管农业机械技术在空间上演变的总体规律符合“雁形”形态，即不同梯次等级的农业机械技术总是从发达国家到次发达国家，再到发展中国家、落后国家依次传递发展，但是，像中国这样具有后发优势的发展中大国，如果通过实施技术创新和产业激励政策，经过一段时间的努力，完全可以实现技术和产业的升级和跳跃。我国必须铭记东欧部分国家的教训，在发展国际高端产品进口的同时，务必抓住机遇，提高农业机械的自主创新能力，努力在国际农业机械技术的格局中占有重要的地位。

我国农业机械科技创新国际化发展总体上应该坚持“自主创新和引进技术相结合、引进来和走出去相结合、产品优化和产业调整相结合、突出重点与全面发展相结合”，利用外资、引进技术和对外投资、输出技术并重，提高安全高效地利用两个市场、两种资源的能力，实现由“引进来”的发展初级阶段走向

“走出去”的发展高级阶段，最终达到由农业机械制造和使用大国向国际农业机械制造强国转变的战略目标。

21.1.1 研发国际化战略

一是通过新建、购并、合作等方式，建立海外研发机构或购并海外研发资源。通过跨国并购获得技术专利和标准等核心资源，并实施本土化研发战略，同时通过先进技术研发成果转移支持国内产品技术升级和产业结构优化；通过境外建立研发机构不断引进新技术，实行研发业务全球化运作，提升现有产品技术水平，同时保持国际前沿技术跟踪能力。

二是通过与海外的农机企业、大学、研究机构开展广泛的研发合作，组建国际研发联盟。充分利用世界各国的科技资源和优势，降低新产品研究开发的成本和风险，以谋求产品价值链各环节的最大效益，在全球范围内配置研发资源，构建全球研发网络体系，最大限度地利用企业自身的技术优势和东道国的科技资源，建立与其他组织广泛的外部合作，以获得长期、稳定的全球科技领先优势。

21.1.2 资源国际化战略

一是具有核心技术优势的专业企业，要充分利用国际分工进一步细化、全球采购和供应链管理的趋势越来越明显的特点，积极参与全球分工体系。我国农业机械制造业拥有一批专业化的零部件厂家，不仅能够参与全球分工体系，而且能够为国内厂家开发和制造整机产品提供更好的产业环境。以国内需求为基础，发展外向型的零部件工业，也是当前我国部分农机专业企业的一个现实选择。

二是具有良好信誉、知名品牌，市场份额占有率高的企业，要积极利用国内市场优势地位，充分利用全球生产制造资源，直接选取采购国内短期无法突破，而国外技术先进成熟的零部件和总成系统，如目前大功率拖拉机广泛应用的电控喷射燃油发动机和动力负载换挡无级变速传动系等，弥补高端核心部件的不足，缩短研发周期，提升技术竞争力。

21.1.3 产品国际化战略

一是国内外市场广泛使用的大中功率拖拉机以及瞄准当前农业生产规模化经营发展需求的升级换代农机产品，如高通量谷物联合收割机、高速插秧机等，充

分发挥本土技术和市场优势，积极谋求与国外知名品牌的联合研发、生产和销售，并加快实现“本土化”生产，同步跟进国外先进产品市场。

二是具有我国自主知识产权的经济型中小功率动力和机具，由于质量稳定、性价比较高，在发展中国家具有明显的竞争优势，也是发达国家的缺档产品，在发达国家的细分农机市场上也能抢占一席之地。通过进行针对国际目标市场的产品技术试验，提升产品区域差异化适应性，复制成熟产品国际化推广模式，维护好在细分市场的竞争优势。

三是充分发挥主观能动性，自主创新，积极培育适应我国多样化农业发展需求的特色农机产品，如秸秆收割机、不分行玉米联合收获机等国外没有成熟技术，国内特色产业发展急需的农业机械产品，必须要抓住先发市场优势，积极培育。

21.1.4 品牌国际化战略

一是从企业内部着手，打造国际性品牌。立志做自己的知名品牌，可以经受各种质量标准认证；销售与服务同步，甚至服务先于产品销售，逐渐建立起遍及全球的营销网络和维修服务网络；通过严格的管理和控制，树立“质量高于一切”的信誉，将品牌逐步打入国际市场，形成自己的相对竞争优势；营造深厚的品牌文化，将文化融入品牌之中，品牌设计应做到简洁醒目，易识、易记、易传，且文化深厚。

二是瞄准国际知名品牌资源。通过资本运作和以资产为纽带，与国际知名品牌合作或者收购国际知名品牌，形成以我国企业为主导的品牌系列。

21.1.5 人才国际化战略

坚持“人才第一”的国际化经营哲学和“以人为本”的核心理念。

一是在国际化人才引进和获取方面，要获取世界先进技术、管理方法和高素质人才，应重点从美国及德国、法国、英国和意大利等发达国家中选择。这些国家和地区是世界新产品、新技术、新信息的发源地，人才智力资源的集散地，在这些国家和地区投资经营，建立研发中心和信息中心，有利于了解和熟悉国际市场运行规则，紧跟产品和技术的最新趋势，有利于吸引高素质智力资源，对企业自身的技术进步和管理水平的提高具有很强的激励推动作用。

二是在国际化人才管理和使用方面，必须培育国际水准的“以人为本”的

企业文化，树立“开放、包容、尊重”精神，体现充分授权、交流讨论、尊重文化的空间和浓厚的人文气息，从而既能够吸引又能够团结大批的国际化精英人才的到来。同时，建立一个选拔、激励、培育人才的合理结构、激励体系和监督系统。

21.1.6 市场国际化战略

一是以具有竞争力的经济型产品开拓市场、扩大市场份额，可首选北美、西欧和日本，这些国家和地区投资环境良好，消费水平高、市场规模大、市场细分程度高，投资机会相对较多，但竞争激烈，进入台阶高，要瞄准高性价比产品。

二是东南亚地区，作为世界上最具潜力的市场之一，投资政策优惠，环境较为宽松，我国具有较大的地缘优势，也是我国传统的农机产品出口市场。我国农机企业若能够发挥自身产品和技术优势，加之较好地把握当地政治、经济、文化的特点，就能够在该地区的市场竞争中占据主动。

三是拉美地区，现阶段政治经济形势稳定，投资软硬环境基本具备，我国农机制造企业许多技术优势有用武之地，农机企业可在拉美国家投资设厂占领当地的市场，实现保护出口市场的目的。

四是非洲地区，我国先进的精耕细作农机结合成套农机产品和工程技术在这些地方具有明显优势，农机企业可利用非洲国家一些产品无配额转出口到欧美的有利条件开展加工贸易。

21.2 我国农机行业国际化发展的对策措施与政策建议

21.2.1 对策措施

在经济和科技全球化深入发展的条件下，我国同世界的联系日益紧密，互动和依存不断增强。新形势下，国家统筹工业化、城镇化和农业现代化发展，我国农业和农村发展面临新的历史机遇和挑战，对农业机械科技创新发展以及国际化竞争力提升提出了更高要求。科技创新国际化，不仅是符合我国国情的农业机械科技发展道路，也是促进我国农业机械走向世界的国家战略任务和历史使命。从我国的经济实力和财政能力、国民经济和社会发展的客观要求，以及农业机械自身发展规律看，促进我国农业机械科技实现跨越发展并走向国际化的社会氛围、经济条件、技术基础、人才能力和有效机制等已经基本具备，时机成熟。

1. 抓住机遇，将国际化科技创新作为提升我国农业机械科技发展能力的战略制高点统筹部署

紧紧围绕我国国民经济与社会协调发展的主线，根据国际农机科技与产业发展的基本态势，本着“突出重点与全面发展结合”“近期安排与长远部署结合”和“整体布局与分类实施结合”的原则，立足“国家战略必争、产业发展必需、技术竞争必备、社会需求巨大”的选择依据，以具有全局性、前瞻性和急迫性的产业共性关键技术与重大产品国际化开发研究为突破口，聚集国际化优势资源，以产业技术创新能力建设为重要手段，坚持“自主创新和国际化合作创新相结合”的发展道路。针对量大面广、事关食物安全，以及具有鲜明国际竞争优势的中小型农业设施装备技术，坚持走自主创新和全面跨越发展的科技发展道路，以集成优势向国外输出成套技术；针对发达国家和世界跨国公司已形成信息化、智能化、大型高效等技术领先优势并逐步形成市场垄断的高端农业设施装备技术，坚持走引进消化吸收再创新与联合研发的科技发展道路，以局部尖端突破为优势向国外输出；针对新材料、新能源、新产业和事关新领域发展的前沿技术，坚持走集成创新、快速拓展的科技发展道路，形成国际化竞争优势。

通过国际化的科技创新，到 2015 年，拥有一批具有自主知识产权的高端产品核心技术，达到国际先进水平。到 2020 年，步入世界农机工业强国行列。打造一批特点鲜明的国际知名品牌，能够提供满足我国农业规模化与产业发展所需的各种关键农机，形成国内市场上的与国外先进技术的同台竞争优势；加快智能装备技术和制造技术的现代化，形成走出去的尖端竞争优势。融入国际化功能要素的自主创新体系进一步完善，重大农机设计、制造和系统集成持续创新能力达到当代国际先进水平，高新技术在农机上得到广泛应用，形成国际化竞争的持续能力。

增强具有自主知识产权的农机制造能力，现代制造技术和信息技术广泛采用，打造 3 ~5 个具有较强国际竞争力的大型企业集团和产业集群，重大农机制造能力明显增强，掌握国际化竞争的主动权。

2. 创新机制，积极构建国际化农业机械科技创新体系

农业机械产业的发展与技术进步是关乎国民经济发展的具有全局性和战略性的问题，必须高度重视。这个产业直接服务于事关我国食物安全、农村社会稳定、农民就业和农业资源高效利用的国民经济基础性产业，这个产业具有普遍的公益性和极强的国际市场竞争性，这个产业只有同时满足国内和国际市场才能在

竞争中立于不败之地。因此，必须尽快构建起适应国际化的国家农机科技创新体系，引领和支撑我国农业机械又好又快地可持续发展。

以农机企业为创新主体，尽快建立市场引导、政府支持、全球力量广泛参与的合作制度，形成多元化的农机科技创新国际化发展体系。创新人才国际化、创新研发国际化、树立品牌国际化、资本投入国际化、市场开拓国际化，从而发挥企业国际化先进制造能力，开展产品关键技术、先进制造工艺技术和多学科交叉融合技术的集成，建立重大产品国际化创制基地，提高装备全球供应能力。

同时，做强、做大、做实“农业机械产业技术创新战略联盟”。除了与国内先进技术联盟开展共性技术突破外，更主要的是与国际化公司结盟。以联盟为主体整合国际科技资源，通过科技大协作、全球大联合，共同研究发展的前沿技术；共同开发节能减排、降本增效和自动化、智能化、数字化、多功能等需要多学科技术交融的关键技术；加快国外适宜地区本土化技术集成和实用性技术和产品的转化，建成具有国内领先水平和国际先进水平的国际化共性技术研发基地，成为开放、高效和具有“自我造血”功能与可持续发展能力的国际化科技发展中心，带动和促进国内技术的国外溢出。

构建我国农机科技国际化创新体系是未来我国农业机械科技发展的重要目标之一，也是贯彻科学发展观和建设创新型国家，促进我国走新型工业化道路，实现用现代技术改造传统农业的重要“抓手”，更是依靠国际化科技创新来支撑发展和引领未来的具体实践。

3. 重点布局，全面系统建设农业机械科技创新国际化平台

尽快建立起以企业为科技创新主体、产学研紧密结合、国际化共同协作的科技创新平台，能够不断突破产业发展的核心技术与关键装备问题。这是直接服务于产业快速发展中的自主创新能力与核心竞争力迅速提高的有效途径，是建设创新型国家的一项重要工作和重大举措，是建立国际化科技创新体系的一种新思路和新模式。

鼓励国内研究机构与国外先进技术研究机构联合共建农机科技领域具有公益性、相对独立性和面向全球服务的创新实体，瞄准国际前沿和具有前瞻性的基础理论和核心技术，重点开展农业机械结构新材料、清洁能源农用动力、电子信息、机械传动、试验检测和设计制造、主动可靠性等研究，使之成为支撑农机科技国际化创新发展的“原动力”。鼓励以国家工程技术中心为依托，针对新技术、新产品开发，积极开展农机清洁生产技术、安全生产技术、数字化与先进制

造技术、信息智能化技术、资源高效利用技术等技术成果的国际化应用、共享、转化和服务，使之成为农业机械高新技术产品和国际化科技创新型企业的“孵化器”；根据农机产业的区域特色、产品多样、行业特殊等特征，依托骨干企业与重点科研院所、特色院校结合，建立“国际化企业技术中心”，开展农林生产、加工转化、商品化处理与农产品物流、水利设施、设施农业工程、农村能源利用等装备工程技术国际化制造和辐射示范，使之成为农业机械的“国际化区域性创新应用基地”。

通过建立农机科技国际化创新平台，逐步形成具有鲜明的区域特征、产品特征和产业特征，能够形成新理论、新工艺、新技术、新产品、新市场、新产业及创新人才培养的农机工业工程技术国际化创新“原动力”“孵化器”和“区域科技创新应用基地”，为我国从农机制造大国到强国转变提供强有力的科技保障。

4. 整合全球资源，集中力量突破农业机械科技发展的瓶颈问题

根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》发展“多功能农业机械与设施”优先主题的内容，建议设立和启动“现代农业设施与装备”国际化科技专项，本着突出重点、有限目标、可操作性强、近期内可实现的基本原则，针对 147kW（200 马力）以上拖拉机、玉米联合收割机、采棉机等新型大功率专用农机产品，健康养殖设施技术与装备，温室设施配套技术与装备，丘陵山地小型多功能农业机械，智能化农业机械与设施等技术领域，力争实现突破，尽快实现快速发展。通过多渠道融资、多学科整合、跨行业协作、全球联合突破，开展农机原理性技术创新和关键共性技术研发与重大产品的产业化。

重点突破，努力攻克一批以数字化建模与虚拟设计、可靠性强化试验与测控、负荷反馈调控与故障诊断、闭心负荷自动换挡、仿生降阻与节能减排等为主要内容的技术难题；市场优先，积极开发一批节能环保、多功能、智能化、经济型重大产品；集成创新，全面建设一批共性技术研究、关键技术研发、新型农业机械创制的国际化基地；强化协调，重点培育一批具有优秀创新能力的国际化人才和团队；跟踪跨越，储备农村新能源、农业机械信息化等一批前沿技术；国际接轨，推进农业机械标准工程，在科研、开发、设计、制造、流通等新技术领域开展行业标准、国家标准和国际标准的研究、制订和修订，使我国农机标准化工作达到中等发达国家水平，标准制定周期控制在 2 年以内，标龄控制在 5 年以内，相关国际标准的采标率达到 80%。

21.2.2 政策建议

1. 加强农业机械科技创新国际化的发展政策研究

开展农业机械科技创新国际化发展道路的战略研究，制订规划，从科技、教育、金融、税收等多层面完善相关支撑发展条件，完善促进农业机械科技创新国际化的有关法律法规和鼓励产业国际化发展的具体措施，为农业机械科技创新国际化提供必要的制度和法律保障。

2. 建立农业机械科技创新多元化投融资机制，加强企业自主创新能力建设

加强科技创新投融资环境建设，建立包括政府财政、产业资本、风险资本、金融资本、民营资本的多元化投融资渠道，形成全社会对农业机械科技创新投入的稳定增长机制。通过中央资金扶持和地方跟进投资的引导示范，促进产业资本与金融资本对农业机械科技创新的支持。将农业机械科研开发基础设施建设纳入国家工程（技术）实验室、国家工程研究中心、国家级企业技术中心等项目建设范围，在高新技术产业化示范项目安排中，对农机科研新技术和新产品予以倾斜。对农机装备制造企业研发投入经费实行税前减免政策，鼓励企业加大研发投入。

3. 构建农业机械科技创新国际化研发体系，加快提升产业国际竞争力

建立农业机械国际化创新基地。整合国内资源，引导设立国际化企业和研发机构、国内优势企业和研究机构聚集的研发园区，形成具有融汇不同文化、汇聚一流人才、共同开发、具有世界先进水平的创新集群。

构建农业机械科技创新国际化战略联盟。搭建农业机械出口企业合作平台，建立出口技术产品市场协作和信息共享机制。建立信息服务中心，提供国外技术信息和市场信息。加强行业标准研究的国际化步伐，加快实现与国际标准的接轨。

建立为技术创新国际合作的中介服务体系。鼓励建立中介服务组织，为国内企业与外国的技术合作搭桥牵线；积极搭建相关的国际多双边法律框架，解决当前海外投资急需的法律保障问题，积极保护我国的海外投资利益；通过国际协议形式为企业的国际化创新活动争取东道国的优惠政策，为企业在东道国的技术创

新活动提供良好的外部环境。

4. 设立农业机械科技创新国际化相关的科技计划

支持新型农业机械科技引进和对外合作。在节约型农机技术、资源高效利用型技术、大型智能化农机技术、关键核心部件先进制造技术等方面，鼓励和支持引进再创新、对外合作研发、技术买断。鼓励大型农机企业集团建立国际化研发机构，对在海外建立研发机构给予资金补贴支持，加大引进国外农业机械领域高端人才的创业、研究经费资助力度。

设立农业机械国际化科技创新支持科技计划。国家科技专项框架下，设立农业机械国际化支持专项计划。加大国际科技合作专项计划支持力度，建立农业机械前沿技术、新兴技术、国际化人才交流的长效机制。设立农业机械国外区域化技术创新资金，支持国内技术海外区域化适应性、实用性试验和成熟化。

加大对企业引进先进技术的配套支持。加大核心专利技术引进和其他软技术购买的补贴支持，加强企业国际专利、国际商标申请的保护工作。

5. 建立有区别的市场准入制度

对海外投资在国内建厂的纯制造型企业实施严格的审批制度，对国外企业合资侵并国内企业实施严格审批制度，对国内技术成熟、引进纯属使用型的农业机械实施严格审批制度，加大引进先进农机进行消化吸收再创新的配套资金支持。

6. 加强农业机械创新国际化人才培养

我国农机制造业人才总量不足，流失比较严重，尤其是缺乏国际化的人才，制约了产业国际化发展。因此，把塑造人才、凝聚人才作为产业经济发展的重要战略十分必要。以专业人才培养为重点，加强技术创新队伍的建设。完善培育体系，注重农机基础教育，学校与企业、科研机构加强合作，联合培育年富力强、具有创造性的科技人才、管理人才、贸易人才和高级技工、特种技能的带头人。注重现有人员的素质培养和技能提升，开展专业培训、技能培训、扩展能力培训、国际化知识和实战能力培训，重塑人才。

创造良好的聚才环境，完善制度和政策保证，健全激励机制。其包括完善符合国际惯例和世界贸易组织规则的人才流动机制，主动吸纳、及时重用的人才引进机制，目标明确、综合激励的人才培养机制，公平竞争、优胜劣汰的人才使用机制，绩效优先、体现价值的人才分配机制，功能齐全、技术先进的人才市场服务体制。

参 考 文 献

[1] Choi K H, Lee K J, Kim G. Nondestructive Quality Evaluation Technology for Fruits and Vegetables Using Near-Infrared Spectroscopy [C] //International Seminar on Enhancing Export Competitiveness of Asian Fruits, Bangkok2006.

[2] Kimura, et al. Measurement apparatus for measuring internal quality of object [P]. US6563579, 2003.

[3] Powell Jr, Harry. Accurate weight sizing: US4660665 [P]. 1987-04-28.

[4] Smith R J, Baillie J N, McCarthy A C, et al. Review of Precision Irrigation Technologies and Their Application [D] . National Centre for Engineering, Toowoomba.

[5] Yukihiro Ozaki. An overview of research and development of near infrared spectroscopy in Japan [C]//J. NIR Spectrosc. 3, 179 (1997) The 1st Asian NIR symposium and the 24th Japanese nir forum, Nov. 10-24, 2008. Tsukuba, Japan: 39-41.

[6] 白京宇，陈志，苏文凤. 我国农业机械产业组织结构调整方向分析 [J]. 农业机械学报，2007，38 (10)：57-60.

[7] 蔡华，于永彦. 基于自主创新战略的我国农业机械制造业研究 [J]. 改革与战略，2009，25 (10)：44-46，64.

[8] 蔡建国，吴祖育. 现代制造技术导论 [M]. 上海：上海交通大学出版社，2000.

[9] 曾传华，谢维成. 物流管理与信息系统 [M]. 北京：清华大学出版社，2007.

[10] 曾祥录，李登万，等. 装备制造业数字化制造应用策略 [J]. 机电工程技术，2009，38 (10)：20-21，90.

[11] 曾谊晖，等. 基于价值链的挖掘机现代设计业务流程再造方法研究 [J]. 广西轻工业，2011 (2)：34-37.

[12] 柴天佑. 集成创新发展中国的自动化技术及产业 [J]. 中国制造业信息化，2005 (10).

[13] 陈传刚. 超高速切削及其对机床、刀具的要求 [J]. 机械工人，2001 (12)：5-6.

[14] 陈达强，胡军. 物流系统建模与仿真 [M]. 杭州：浙江大学出版社，2008.

[15] 陈德忠. 冲压模与电火花线切割加工技术 [J]. 电加工与模具，2007：73-75.

[16] 陈定方. 国际先进制造技术发展现状 [J]. 黄石理工学院学报，2006，22 (4)：5-7.

[17] 陈海燕，张荣英. 我国农机制造业发展的探讨［J］. 河北农业科学，2009，13（7）：168-169.

[18] 陈浩. 基于绿色制造的新型机械制造工艺及装备技术研究［D］. 安徽：合肥工业大学，2008.

[19] 陈龙. 浅议机械制造智能化发展［J］. 科协论坛，2011（2下）：95.

[20] 陈牧. 基于可持续发展战略的纺织企业绿色物流流程再造与应用研究［J］. 福建高等专科学校学报，2008（5）：49-56，81.

[21] 陈伟，杨俊宇. 基于VB的分布式数控机床远程监控与诊断系统研究［J］. 组合机床与自动化加工技术，2004（10）：20-22.

[22] 陈文. 逆向工程在航空上的应用［J］. 航空维修与工程，2005（2）：30-32.

[23] 陈肖微. 基于流程的企业执行力研究［D］. 广州：暨南大学，2009.

[24] 陈小俊. 虚拟制造在汽车制造企业的应用［J］. 城市车辆使用与维修，2003（4）：50-51.

[25] 陈晓姝. 基于快速原型制造的精密熔模铸造技术研究与应用［J］. 金属加工，2010（19）：61-63.

[26] 陈英莫，肖志华，陈敏. 21世纪初期机械制造业发展的趋势［J］. 机械制造，2002，40（452）：20-22.

[27] 陈志. 农业机械制造业自主创新战略研究［J］. 农业科技推广，2006，10：7，8-11.

[28] 陈志，等. 建立我国农业机械产业准入制度的思考［J］. 农业现代化研究，2008，29（3）：281-284.

[29] 成丽娜. 汽车制造业如何利用客户关系管理进行业务流程重组［J］. 黑龙江科技信息，2009（31）：102.

[30] 程晖. 再制造工程：生产力再生［N］. 中国经济导报，2009-08-25（A02）.

[31] 程森锋. 汽车新产品自主研发流程分析及优化［J］. 吉林工程技术师范学院学报，2009，25（8）：24-26.

[32] 崔介何. 企业物流［M］. 北京：中国物资出版社，2005.

[33] 戴峰. 我国大型制造企业采购流程再造［D］. 成都：西南财经大学，2005.

[34] 单忠德，杨菁. 铸锻热加工行业节能减排技术及设备［J］. 铸造技术，2009，30（5）：583-588.

[35] 但斌，刘飞. 先进制造与管理［M］. 北京：高等教育出版社，2008.

[36] 邓建新，邵明. 现代挤压铸造设备的智能制造内涵［J］. 机床与液压，2010，38（3）：25-28.

[37] 刁柏青，李学军，王建. 物流与供应链系统规划与设计［M］. 北京：清华大学出版

社，2003.

[38] 丁佐云. 装备制造企业项目管理流程再造研究［J］. 商场现代化，2010（总633）：23-24.

[39] 豆尚成，等. 电火花线切割加工技术最新研究进展［J］. 电加工与模具，2011（2）：1-3.

[40] 杜森. 基于智能流程模式的流程执行过程的研究［J］. 信息技术与信息化，2010（3）：84-86.

[41] 樊增强. 跨国公司研发国际化的“挤出效应”及我国的战略选择［J］. 经济纵横，2007（8）：38-40.

[42] 范荣鑫，左继成. 先进机械制造技术的发展现状和发展趋势［J］. 机械设计与制造，2003（4）：117-119.

[43] 方宪法，陈志，苏文凤，等. 中国农业机械产业发展战略研究［J］. 农业工程学报，2007，23（2）：267-272.

[44] 方宪法，陈志，等. 中国农业机械产业发展战略研究［J］. 农业工程学报，2007，23（2）：267-272.

[45] 方宪法. 我国农业机械工业和产业技术发展［J］. 新疆农机化，2007（3）：11-14.

[46] 冯毅萍，荣冈. 流程工业智能工厂实验系统［J］. 信息与控制，2005，34（1）：35-39，43.

[47] 冯友兵，张荣标，沈敏. 面向精确灌溉的无线传感器网络构建［J］. 农业机械学报，2009，40（1）：56-59.

[48] 冯之坦，赵妍. 浅议企业绿色流程再造［J］. 商场现代化，2007（总498）：37.

[49] 付于利，王静. 运用流程管理提高企业市场竞争能力［J］. 民营科技，2010（11）：211.

[50] 干勇，仇圣桃. 先进钢铁生产流程进展及先进钢铁材料生产制造技术［J］. 中国有色金属学报，2004，14（1）：25-29.

[51] 高广阔，陈荔. 企业绿色化组织流程再造模式研究［J］. 经济学与经济管理，2007（1）：57-60.

[52] 高海生，孙慧先. 果实采后处理的机械化、自动化技术［J］. 世界农业，2002（9）：36-38.

[53] 龚时宏，许迪. 我国节水灌溉产品需求预测与产业化发展重点［R/OL］. http：//www. zgggzx. com/frontpages/view. php? aid = 6702.

[54] 顾震宇. 全球工业机器人产业现状与趋势［J］. 机电一体化，2006（2）：6-9.

[55] 郭钢. 新产品数字化设计与管理［M］. 重庆：重庆大学出版社，2002.

[56] 郭勇. 我国工业机器人研制及应用跻身国际先进水平 [J]. 机电一体化, 2001 (6): 22.

[57] 国家统计局. 中国农业统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[58] 国家统计局. 中国统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[59] 韩国促进装备制造业发展和加快工业化的政策措施 [R/OL]. 国家重大技术装备网. http://china neast. xinhuanet. com/jszb/2006-12/12/content_ 8754246. htm

[60] 韩东海, 刘新鑫, 赵丽丽, 等. 苹果水心病的光学无损检测 [J]. 农业机械学报, 2004, 35 (5): 143-146.

[61] 韩权利, 赵万华, 丁玉成. 未来制造业模式——智能制造 [J]. 机械工程师, 2002 (1): 26-28.

[62] 韩兴国. 数控机床运行精度远程检测及数据处理技术研究 [D]. 四川: 西华大学, 2007.

[63] 韩英等. VM 技术介绍及其应用 [J]. 中国测试技术, 2004 (1): 36-37, 60.

[64] 郝京辉, 等. 网络化协作环境下机械产品加工任务粒度分析 [J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12 (3): 451-457.

[65] 郝梅玲. 逆向物流库存控制模型与逆向供应链管理库存理论综述 [J]. 物流科技, 2005, 28 (124): 78-80.

[66] 何东健, 前川孝昭, 森岛博. 水果内部品质在线近红外分光检测装置及试验 [J]. 农业工程学报, 2001, 17 (1): 146-148.

[67] 何东健. 水果品质无损测定最新技术及设备: 鲜桃糖度近红外测定 [J]. 农牧与食品机械, 1992, 5, 41-42, 52.

[68] 何风梅, 赵灿. 快速原型制造技术在工业产品造型设计及制造中的应用 [J]. 机械设计与制造, 2006 (11): 80-81.

[69] 何建中. 电火花成型加工技术的应用与发展 [J]. 中国西部科技, 2007 (5): 20-21.

[70] 何霆, 马玉林. 先进制造系统生产整体规划与控制研究 [J]. 制造业自动化, 1999, 21 (6): 1-3.

[71] 洪筠. 应用现代物流管理促进农机企业的发展 [J]. 农机化研究, 2004 (1): 28-29.

[72] 侯高岚, 曹红辉. 美日支持企业国际化经营的经验及其启示 [J]. 河北经贸大学学报, 2006, 27 (4): 63-68.

[73] 胡丽华. 国外推动中小企业国际化的经验与启示 [J]. 江淮论坛, 2001 (1): 34-39.

[74] 胡玲海. 一汽装备公司流程再造方案设计 [D]. 吉林: 吉林大学, 2004.

[75] 胡兴军. 我国先进制造业发展状况及促进建议 [J]. 装备机械, 2006 (1): 6-11.

[76] 胡志坚, 冯楚健. 国外促进科技进步与创新的有关政策 [J]. 科技进步与对策, 2006, 23 (1): 22-28.

[77] 华博，朱忠祥，宋正河，等. 基于虚拟现实的拖拉机试验场景建模技术研究［J］. 农机化研究，2010（3）：41-44.

[78] 黄键. 先进制造技术在发动机制造业上的应用［J］. 新技术新工艺，2008（3）：45-46.

[79] 嵇俊. CTP为生产流程带来时间与技术的优化［J］. 中国包装，2010（6）：46-47.

[80] 嘉琪. 打造实效农机流通新平台［J］. 农业机械，2006（11）：67.

[81] 贾青云，李冬妮，孙凤池. 现代汽车制造技术之机械加工［J］. 汽车工艺与材料，2002（4）：1-5.

[82] 简金辉，焦锋. 超精密加工技术研究现状及发展趋势［J］. 机械研究与应用，2009（1）：4-8.

[83] 姜照华，肖洪钧，等. 科技国际化的理论与战略［M］. 北京：科学出版社，2010.

[84] 蒋俊，周听祥，肖佩. 工业企业生产管理［M］. 天津：南开大学出版社，1999.

[85] 金同铭，崔洪昌，河野澄夫. 近红外（NIR）光谱法测定完整苹果糖的含量［J］. 华北农学报，1995，10（2）：87-90.

[86] 康风华，潘苏容. 信息时代机械制造业应对策略［J］. 沈阳大学学报，2005，17（4）：55-56，63.

[87] 孔文. 基于现代物流下的物流产业分析及政策研究［D］. 辽宁：东北财经大学，2007.

[88] 兰才有，仪修堂，薛桂宁，等. 我国喷灌设备的研发现状及发展方向［J］. 排灌机械，2005，23（1）：1-6.

[89] 雷朝辉. 高效管理：汽车供应链管理实务［M］. 北京：机械工业出版社，2010.

[90] 黎海波. 德国农业机械化的发展情况及特征［J］. 福建农机，2005（4）：38-39.

[91] 黎海波. 法国发展农业机械化的主要政策［J］. 现代农业机械，2006（2）：66-68.

[92] 黎海波. 美国农业机械化发展的特征［J］. 当代农机，2006（4）：82-83.

[93] 李春雷. 高速切削技术的应用研究［J］. 制造技术研究，2010（6）：23-26.

[94] 李荷华，刘亚晖. 面向多智能体的流程工业运行任务模型研究［J］. 计算机工程与应用，2004. 10：11-14，33.

[95] 李红信，吕振肃. 网络化制造环境下协作需求的表达与协作流程的管理［J］. 网络化制造，2005（09）.

[96] 李华楹. 浅谈先进制造技术的发展趋势和特色［J］. 装备制造技术，2010（9）：103-104，117.

[97] 李祎文，李建中. 先进制造技术的应用发展趋势［J］. 矿山机械，2007，35（6）：7-9.

[98] 李建中，李祎文．先进制造技术的应用及发展趋势［J］．机械，2007，34（5）：1-3，10.

[99] 李健．先进制造技术与管理［M］．天津：天津大学出版社，2009.

[100] 李开明．航天制造技术的发展与对策探讨［J］．空间电子技术，2000（4）：59-62.

[101] 李侃．我国农业制造业发展战略研究［D］．北京：中国农业大学，2005.

[102] 李凌丰，等．实现虚拟企业的需求分析［J］．计算机辅助设计与图形学学报，2000，12（11）：856-859.

[103] 李明磊．浅析我国数控技术在制造业的发展趋势［J］．中国新产品新技术，2011（3）：206.

[104] 李圣怡．超精密加工技术成就现代国防［J］．国防制造技术，2009（3）：16-21.

[105] 李伟．先进制造技术［M］．北京：机械工业出版社，2005.

[106] 李文龙．复杂曲面零件数据拼合与精密加工技术研究［D］．武汉：华中科技大学，2010.

[107] 李学忠，等．基于逆向工程的汽车模型三维造型设计［J］．农业机械与车辆工程，2007（3）：38-39.

[108] 李雪梅．国外政府扶持企业技术创新政策探析［J］．企业活力，2007（8）：58-59.

[109] 李冶．石河子开发区支柱产业发展趋势研究［J］．经济视角（下），2011（3）：19-21.

[110] 李祎明．物料编码在农机企业物流管理中的应用［J］．商场现代化，2009（576）：22-23.

[111] 李予阳．“多功能农业机械与设施研制”课题通过验收［N］．经济日报，2010-08-31（03）.

[112] 李远志，等．网络化制造环境下 ERP 的生产管理系统［J］．自动化与控制，2011（1）：57-58.

[113] 李志国，等．逆向工程与快速成型一体化在现代产品设计中的应用［J］．机床与液压，2007，35（12）：42-54，73.

[114] 李宇霞，郭艳玲．节水喷灌技术设备的研究［J］．林业机械与木工设备，2009，137（2）：12-15.

[115] 林峰等．逆向工程及其关键技术［J］．机械制造，2003，41（468）：14-16.

[116] 刘德平，陈建军．快速原型制造与逆向工程集成技术综述［J］．矿山机械，2005，33（7）：72-75.

[117] 刘德忠，费仁元，吴国蔚．制造工程组织学［M］．北京：科学出版社，2005.

[118] 刘飞．先进制造系统［M］．北京：中国科学技术出版社，2001.

[119] 刘金汉. 车身焊装生产线上多台工业机器人应用技术的研究 [J]. 机器人，2002，24（1）：20-25.

[120] 刘晋红，等. 高速车铣加工（HSTM）——一种新型的精密加工技术 [J]. 山西冶金，2009，32（2）：6-8.

[121] 刘俊利，刘伟. 精密超精密加工技术在航天领域的应用与展望 [J]. 航天制造技术，2008（4）：51-55.

[122] 刘丽艳. 发达国家实施中小企业国际化战略的经验及其借鉴 [J]. 长春工程学院学报（社会科学版），2006，7（2）：51-53.

[123] 刘平，闫涛，刘贵民. 农业机械再制造工程及关键技术 [J]. 中国农机化，2010（1）：84-87.

[124] 刘焱选，白慧东，蒋桂英. 中国精准农业的研究现状和发展方向 [J]. 中国农学通报，2007，23（7）：577-582.

[125] 刘昱熙. 企业绩效评价体系创新研究 [D]. 湘潭：湘潭大学，2004.

[126] 刘云. 跨国公司技术创新研发国际化与组织模式及影响 [M]. 北京：科学出版社，2007.

[127] 刘占军，贺平. 虚拟与快速原型制造技术的研究 [J]. 机械设计与制造，2006（2）：97-98.

[128] 刘振海. 采购供应业务流程再造的探索与实践 [J]. 科学与管理，2011（1）：76-77.

[129] 卢小平. 现代制造技术 [M]. 北京：清华大学出版社，2011.

[130] 卢晓红. 面向 ASP 的协同设计与车间生产物流精益规划研究 [D]. 辽宁：大连理工大学，2007.

[131] 陆婉珍，袁洪福，等. 现代近红外光谱分析技术 [M]. 北京：中国石化出版社，2000.

[132] 路甬祥. 走向绿色和智能制造：三 [J]. 电气制造，2010（6）：14-19.

[133] 罗学文. 当代企业流程重组研究 [D]. 吉林：吉林大学，2005.

[134] 罗亚波. 机械产品协同设计同步效率提升策略研究 [J]. 机械工程学报，2005，41（1）：6-10.

[135] 罗亚波，等. 机械产品可迭代虚拟设计框架研究 [J]. 湖北汽车工业学院学报，2005，19（4）：21-23.

[136] 骆温平. 物流与供应链管理 [M]. 北京：电子工业出版社，2008.

[137] 马海燕，成巍，丛培英. 基于智能制造单元的可重构制造系统研究 [J]. 山东科学，2007，20（5）：35-38.

[138] 马慧贤. 基于项目流程的虚拟企业知识管理流程研究 [J]. 华东经济管理，2008，22（7）：120-123.

[139] 马建宁，杨海，方红文，等. 新一代航空发动机先进制造技术 [J]. 航空制造技术，2008（3）：60-63.

[140] 马彦. 略论超精密加工技术 [J]. 水利电力机械，2006，28（10）：53-56.

[141] 毛景立，张西涛，范秉宇，等. 面向大型飞机的先进制造技术特点及发展趋势 [J]. 中国民航大学学报，2008，26（5）：10-15.

[142] 矛金，解体国. 先进制造技术在航空装备制造中的应用及发展趋势 [J]. 海军航空工程学院学报，2005，20（5）：595-600.

[143] 孟俊焕，等. 智能制造系统的现状与展望 [J]. 机械工程与自动化，2005（4）：114-116.

[144] 孟晓雄. 关于发展我国航天先进制造技术的思考 [J]. 航天工艺，1996（1）：10-13.

[145] 苗剑，等. 网络化制造平台运行流程分析及服务驱动机制研究 [J]. 中国机械工程，2004，15（19）：1745-1749.

[146] 穆松，唐明辉. 环境优则企业强则行业兴——浅谈农机流通问题的解决之道 [J]. 吉林农业，2010（12）：228-229.

[147] 宁汝新. 数字化技术是先进制造的核心技术 [J]. 中国制造业信息化，2011.

[148] 牛士宗，谢晓戎. 世界农机企业收购兼并联合的几个特点 [J]. 拖拉机与农用运输车，2000（6）：49-53.

[149] 牛永生，于海云，孟令军. 少无切屑加工技术在汽车传动零部件中的应用 [J]. 机械传动，2005，29（4）：75-77.

[150] 潘瑜春，赵春江. 地理信息技术在精准农业中的应用 [J]. 农业工程学报，2003，19（4）：1-6.

[151] 祁国宁. 新形势下的中国制造业和先进制造技术 [J]. 中国制造业信息化，2010（02）：21-22.

[152] 强雁，等. 面向未来发展航天先进制造技术 [J]. 航天科技与民品，2000（11）：37-38.

[153] 秦鹏飞. 现代制造工程 [M]. 上海：中国纺织大学出版社，1998.

[154] 秦永法，等. 智能制造装备数字化设计与验证系统研究 [J]. 机械设计与制造，2003（2）：43-45.

[155] 秦仲篪，李海涛，等. 供应链物流信息系统研究综述 [J]. 物流技术，2010：117-120.

[156] 饶秀勤. 基于机器视觉的水果品质实时检测与分级生产线的关键技术研究 [M]. 浙

江大学，2007.

[157] 邵世禄，万芳新. 甘肃省农机装备制造业创新发展刍议［J］. 中国农机化，2009（6）：30-33.

[158] 申佩怀. 发展现代物流全面提升市场业态［J］. 农机市场，2003（4）：21-23.

[159] 盛定高. 现代制造技术概论［M］. 北京：机械工业出版社，2003.

[160] 盛夏. 浅谈基于绿色制造的新型机械制造工艺［J］. 应用科学，2010.

[161] 水利部农水司，中国灌排中心. 中国节水灌溉［M］. 北京：中国水利水电出版社，2008.

[162] 宋小欣. 基于绿色制造的机械加工生产模式的研究［J］. 机械，2004，31（增刊）：10-11，14.

[163] 宋昕，黄磊. 基于物联网技术的散杂货港口汽车提货业务流程优化与系统设计［J］. 物流技术，2010（12）：178-181.

[164] 孙大淼. 先进制造技术与汽车生产装备管理［J］. 设备管理与维修，2004，（5）：4-5.

[165] 孙嫔. 论机械制造业中绿色制造技术应用模式［J］. 民营科技，2011（3）：41.

[166] 孙彦广，陈靖屏. 物流工业制造执行系统［M］. 北京：化学工业出版社，2006.

[167] 谭爱红，许常武. 基于机械制造企业 ERP 系统中生产管理流程的研究［J］. 机械设计与制造，2008（11）：232-233.

[168] 谭亮，李传昭. 美国通用电气公司的企业流程管理演进及其启示［J］. 科技管理研究，2010（15）：228-232.

[169] 唐勤生，王明红，施海锋，等. 现代装备制造业的先进制造技术及其发展综述［J］. 上海工程技术大学学报，2005，19（2）：177-180.

[170] 万丽荣，曾庆良. 基于并行工程的集成化制造工艺系统研究［J］. 煤炭科学技术，2002，30（11）：22-25.

[171] 万鹏. 工业机器人在汽车生产中的应用［J］. 品牌与标准化，2010（06）：22-23.

[172] 汪哲能. 现代制造业的发展方向：绿色制造［J］. 装备制造技术，2010（3）：73-74.

[173] 王斌义. 物流学［M］. 北京：机械工业出版社，2011.

[174] 王大伟. 精密和超精密加工技术的发展［J］. 科技资讯，2008（14）：12.

[175] 王道平，张学龙. 现代物流仿真技术［M］. 北京：北京大学出版社，2010.

[176] 王德成，马国玉，田志宏. 我国农机流通企业的现状及前景［J］. 农机化研究，2001，（40）：4-7.

[177] 王栋，薛瑞清. 国内滴灌产业现状探讨及建议意见［J］. 节水灌溉，2010，（6）：54-57.

[178] 王福军. 水泵与水泵站 [M]. 北京：农业出版社，2011.

[179] 王广春，孙正，陈健. LOM 及其在车灯开发中的应用 [J]. 重型汽车，2001（4）：16-17.

[180] 王海燕，刘春孝. 先进制造技术及发展趋势 [J]. 商业现代化，2008（总 534）：17-18.

[181] 王鸿涌. 韩国现代农业及农业机械化发展的特点 [J]. 农机质量与监督，2006（3）：44-45.

[182] 王家祥，何信. 机械制造业实施网络化的策略和模式 [J]. 南京林业大学学报，2005，5（4）：95-98.

[183] 王建军. 钢铁企业物质流、能量流及其相互关系研究与应用 [D]. 辽宁：东北大学，2008.

[184] 王娟. 加快推进航天数字化制造进程 [N]. 中国航天报，2009-10-23（1）.

[185] 王军，张若宇. 充分发挥技术服务平台优势促进兵团农业机械产业快速发展 [J]. 新疆农机化，2009（1）：29-31.

[186] 王军，张若宇. 构建公共技术服务平台促进兵团农业装备产业快速发展 [J]. 农业装备技术，2009，35（1）：26-29.

[187] 王俊萍，方勇耕. 激光快速原型制造技术及应用 [J]. 浙江水利水电专科学校学报，2004，16（1）：31-32.

[188] 王丽亚. 物流信息系统与应用案例 [M]. 北京：科学出版社，2007.

[189] 王琳琳. 工业机器人面临产业新机遇 [J]. 商务，2010：82-83.

[190] 王蓉辉，柳娜. 美国振兴先进制造业的政策措施及启示 [J]. 价值工程，2007（2）：17-19.

[191] 王瑞杰，樊玉霞，张永华等. 发达国家促进农业机械化发展经验及对我国的启示 [J]. 云南农业大学学报，2006，21（5）：681-689.

[192] 王炜. 科研新产品研发流程分析 [J]. 云南冶金，2010，39（3）：64-66.

[193] 王贤琳，张华. 面向绿色制造的钢铁生产流程优化及其评价 [J]. 机电工程，2007，24（6）：94-97.

[194] 王晓滨. 推动先进制造业发展的税收政策建议 [J]. 税务与经济，2005（2）：28-31.

[195] 王雪华，等. 新产品研发流程再造的设想 [J]. 大连理工大学学报（社会科学版），2001，22（1）：29-32.

[196] 王毅，陆萍，等. 广东农业机械制造业现状分析与振兴策略 [J]. 贵州农业科学，2009，37（7）：240-243.

[197] 王瑛，王宇. 自动化控制系统网络的发展 [J]. 科技信息，2008（18）：64.

[198] 王章豹，刘光复，王厚宽．发达国家先进制造技术发展趋势述要［J］．合肥工业大学学报（自然科学版），1999，22（6）：26-30，34.

[199] 王正君，史津平，周小玉．高速超高速切削及高速切削机床［J］．机床与液压，2001（1）：7-8.

[200] 王志．国外装备制造业政策比较与借鉴［J］．网络财富，2009（17）：162-164.

[201] 魏莹，赵鹏，李莹，等．“2005 中国汽车零部件制造技术与装备需求报告会”精彩回放［J］．MC 现代零部件，2005（5）：14.

[202] 翁锦榕，陈志群．PDM 快速原型制造系统在企业中的作用［J］．中国机械工程，1997，8（5）：23-24.

[203] 邬小撑，赵匀．第三方物流在农业机械化中应用的理论研究［J］．农机化研究，2003（1）：42-45.

[204] 吴波，周云龙．数控机床现状及发展趋势简析［J］．科技信息，2010（25）：461，479.

[205] 吴德光，蔡宗寿．双辊式水果分级装置参数研究［J］．云南农业大学学报，1997，12（4）：292-297.

[206] 吴德光．国外水果分级技术［J］．云南农业大学学报，1992，7（2）：110-115.

[207] 吴海华，方宪法，王德成．农业机械产业竞争力模糊综合评判模型研究［J］．农机化研究，2011（3）：73-76.

[208] 吴建新．先进制造业在国家级区域规划中的定位及发展［J］．经济与管理，2011，25（4）：41-44.

[209] 吴健．现代物流学［M］．北京：北京大学出版社，2010.

[210] 吴江贤．汽车零部件工业的柔性制造［J］．机械制造与研究，2004，33（3）：55～57.

[211] 吴理门．物流案例与分析［M］．天津：天津大学出版社，2010.

[212] 吴明友．高速切削机床［J］．煤矿机械，2006，27（6）：1046-1048.

[213] 肖田元．虚拟制造研究进展与展望［J］．系统仿真学报，2004，16（9）：1879-1913.

[214] 肖文，林高榜．跨国公司 R&D 国际化与中国自主创新［M］．杭州：浙江大学出版社，2011.

[215] 肖忻，张锁江，史丹，等．过程工业的绿色化与信息化［J］．中国科学基金，2004（6）：333-339.

[216] 熊光楞，王昕．仿真技术在制造业中的应用与发展［J］．系统仿真学报，1999，11（3）：145-151.

[217] 徐方．工业机器人产业现状与发展［J］．机器人技术与应用，2007：2-4.

[218] 徐惠荣．基于可见/近红外光谱的水果糖度检测模型优化及应用研究［D］．杭州：浙江大学，2010.

[219] 徐荣璋. 数字化工厂中的产品虚拟制造 [J]. 模具技术，2003 (3)：41-44.

[220] 徐学光. 船舶生产流程再造与绿色制造 [J]. 上海造船，2006 (1)：46-48，51.

[221] 徐正平. 工业机器人在机床上应用渐成发展趋势 [N]. 中国工业报，2005-12-1 (B03).

[222] 许复初. 高效节水灌溉设备生产企业现状与发展趋势 [J]. 中国水利，2009，(5)：63-64.

[223] 许继升. 农业机械产业发展政策与规划研究项目启动 [N]. 中国县域经济报，2007-11-19 (09).

[224] 颜永年. 先进制造技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2002.

[225] 燕辉，王黎明，潘亮，等. 绿色制造工艺技术在机械工业中的应用研究 [J]. 机械设计与制造，2008 (3)：218-220.

[226] 杨大庆，舒纪铭，伍千军. "十一五"期间湖南先进制造技术发展规划研究 [J]. 湘潭师范学院学报 (社会科学版)，2005，27 (2)：94-96.

[227] 杨桂霞，梁鑫. 国内外超精密加工技术与机床的发展状况 [J]. 机械工程师，2009 (1)：9-11.

[228] 杨化书，曲新峰. 工业机器人技术的应用及发展 [J]. 黄河水利职业技术学院学报，2004，16 (4)：42-43.

[229] 杨叔子，李斌，吴波. 先进制造技术发展与展望 [J]. 机械制造与自动化，2004，33 (1)：1-5，6.

[230] 杨统，方志刚. 快速原型制造技术及其在模具制造中的应用 [J]. 机械与电子，2010 (3)：109.

[231] 杨晓蓓，范卫华. 兼并重组，农机企业做大做强之路 [J]. 农机市场，2010 (7)：29-31.

[232] 杨新华，等. 虚拟组织及关键支撑技术研究 [J]. 科技与管理，2001 (1)：21-24.

[233] 杨瑜，肖继学，饶莉. 数控机床分布式远程诊断系统的开发 [J]. 机床与液压，2010，38 (9)：139-142，97.

[234] 叶国杰，陈成锋，伍伟杰. 绿色制造在企业中的应用 [J]. 新技术新工艺，2007 (10)：5-8.

[235] 殷瑞钰. 绿色制造与钢铁工业：钢铁工业的绿色化问题 [D] //中国科协 2003 年学术年会特邀报告专辑，2003 (11)：11-12.

[236] 应义斌，刘燕德. 水果内部品质光特性无损检测研究及应用 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版)，2003，29 (2)：125-129.

[237] 于哲峰，等. 基于逆向工程的快速原型技术 [J]. 机械设计与制造，2005 (3)：26-28.

[238] 虞耀君，等. 汽车模具先进制造技术现状与行业发展趋势［J］. 制造技术与机床，2010（5）：45-47.

[239] 袁巨龙，等. 超精密加工领域科学技术发展研究［J］. 机械工程学报，2010，46（15）：160-177.

[240] 袁寿其，王新坤. 我国排灌机械的研究现状与展望［J］. 农业机械学报，2008，39（10）：52-58.

[241] 袁哲俊. 国内外精密加工技术最新进展［J］. 工具技术，2008，42（1）：5-13.

[242] 张婷，白安龙. 自动化滴灌系统在新疆农业灌溉中的应用前景［J］. 石河子科技，2008（6）：18-20.

[243] 张彩芬. 现代精密和超精密加工技术及发展［J］. 科技咨询导报，2008（20）：10.

[244] 张阐军. 制造业供应链物流精益化管理理论研究与应用［D］. 湖北：武汉理工大学，2008.

[245] 张昌明. 快速原型制造技术的应用［J］. 机械管理开发，2008，23（3）：102-103.

[246] 张帆. 柔性制造在军工电子企业生产组织中的应用—S 企业柔性制造系统组织方式构建［D］. 成都：西南财经大学，2005.

[247] 张华照，等. 基于模块体系的航空航天产品研发流程管理研究［J］. 技术经济，2010，29（10）：1-5.

[248] 张继红. 智能制造系统［J］. 机械管理开发，2005（4）：18-19.

[249] 张静，傅新红. 供应链管理与农产品物流配送［J］. 农村经济与科技，2005（7）.

[250] 张平，何波，等. 模具协同设计制造的工作流程管理研究［J］. 计算机应用研究，2007（2）：46-47，78.

[251] 张世琪，李迎，孙宇，等. 现代制造引论［M］. 北京：科学出版社，2003.

[252] 张涛，等. 大型铝合金薄壁件精密加工技术［J］. 机械工程与自动化，2005（2）：61-63.

[253] 张滔，等. 逆向工程在模具制造中的应用［J］. 磨具制造，2004（1）：65-69.

[254] 张伟. 再制造研究应用现状及发展策略［J］. 装甲兵工程学院学报，2009，23（5）：1-5，47.

[255] 张星政，孟庆芳，吕平，等. 水果分级机. 中国实用新型专利，93230866. X［P］，1994.

[256] 张秀萍. 逆向工程在工业中的应用［J］. 机械制造研究，2009（3）：108-111.

[257] 张昭，杨礼胜，郑戈. 日本农机化发展及其技术引进的经验与启示［J］. 农业科技管理，2010，29（3）：4-7.

[258] 张智勇，等. 分布式网络化制造系统中的工作流管理［J］. 制造业自动化，2001：5-9.

[259] 章军富，陈峻崎，胡剑非，等. 基于 GPRS/SMS 和 μC/OS 的都市绿地精准灌溉控制系统［J］. 农业工程学报，2009，25（2）：1-6.

[260] 章雪岩，等. 物流信息管理：规划、设计与建设［M］. 北京：中国人民大学出版社，2010.

[261] 赵灿，等. 逆向工程三维激光扫描系统若干关键技术的研究［J］. 机械设计与研究，2004，20（6）：58-60.

[262] 赵春江，薛绪掌，王秀，等. 精准农业技术体系的研究进展与展望［J］. 农业工程学报，2003，19（4）：7-12.

[263] 赵东辉. 虚拟制造技术在农机件上的应用［D］. 河南：河南农业大学，2006.

[264] 赵杰文，张海东，刘木华. 利用近红外漫反射光谱技术进行苹果糖度无损检测的研究［J］. 农业工程学报，2005，21（3）：162-165.

[265] 赵明光，易红. 网络化制造环境下机械加工质量控制系统的设计与实现［J］. 中国制造业信息化，2005，34（2）：92-93，95.

[266] 赵荣泳. 数字化工厂与虚拟制造的关系研究［J］. 计算机集成制造系统，2004，10：46-50，55.

[267] 赵向东. 我国中小企业的业务流程再造研究［D］. 济南：山东大学，2006.

[268] 赵晓冬. 先进制造技术在我国发展状况的分析［J］. 装备制造技术，2010（2）：131-132，134.

[269] 赵占峰，葛松林，韩鹏飞. 我国水果业发展中存在的问题及对策［J］. 烟台果树，2006（2）：1-2.

[270] 郑利峰. 智能化车间制造执行系统——FactoryManager［J］. MC 现代零部件，2010（1）：66-68.

[271] 中国灌排中心. 2007 中国灌溉排水发展研究报告［R］. 2008.

[272] 中国灌排中心. 2008 中国灌溉排水发展研究报告［R］. 2009.

[273] 中国灌排中心. 2009 中国灌溉排水发展研究报告［R］. 2010.

[274] 中国农业机械化年鉴编辑委员会. 中国农业机械化统计年鉴 2011［M］. 北京：中国农业科学技术出版社，2011.

[275] 中华人民共和国水利部. 中国水利统计年鉴 2011［M］. 北京：中国水利水电出版社，2010/2011.

[276] 钟铧，杨宝玲. 世界三大农机企业市场开发研究及启示［J］. 世界农业，2010（7）：5-8.

[277] 周红. 基于信息技术的现代制造业［J］. 机械设计与制造，2003（2）：109-111.

[278] 周军. 铝合金 7050-T7451 微切削加工机理及表面完整性研究［D］. 济南：山东大学，2010.

[279] 周立萍，陈平. 逆向工程发展现状研究［J］. 计算机工程与设计，2004，25（10）：1658-1666.

[280] 周荣. 从美国灌溉展看世界灌溉业的变化［R/OL］. http：//news. irrigation. com. cn/news/gnzx/2010-12-30/101230140201302. html.

[281] 周荣辅. 基于先进制造技术的制造业生产流程再造研究［D］. 河北：燕山大学，2007.

[282] 朱从容，顾平灿. 高速切削技术及高速切削机床［J］. 精密制造与自动化，2003（3）：14-15.

[283] 朱华炳. 制造业生产物流系统规划与调度技术研究［D］. 合肥：合肥工业大学，2005.

[284] 朱胜，姚巨坤. 装备再制造性工程的内涵研究［J］. 中国表面工程，2006，19（5）：61-63.

[285] 朱士岑. 国外主要农机企业观察［J］. 农业机械，2008.

[286] 朱士岑. 国外主要农机企业观察［J］. 新疆农机化，2005（2）：47-51.

[287] 祝爱民，等. 制造业绿色产品评价流程设计研究［J］. 机械制造，2006，44（507）：47-49.

[288] 吕波. 资本的博弈［M］. 北京：机械工业出版社，2011.

《中国战略性新兴产业研究与发展》一期书目

《中国战略性新兴产业研究与发展·风能》

《中国战略性新兴产业研究与发展·生物质能》

《中国战略性新兴产业研究与发展·太阳能》

《中国战略性新兴产业研究与发展·新能源汽车》

《中国战略性新兴产业研究与发展·工程机械》

《中国战略性新兴产业研究与发展·农业机械》

《中国战略性新兴产业研究与发展·数控机床》

《中国战略性新兴产业研究与发展·轨道交通》

《中国战略性新兴产业研究与发展·轴承》

《中国战略性新兴产业研究与发展·齿轮》

《中国战略性新兴产业研究与发展·智能电网》

《中国战略性新兴产业研究与发展·水电设备》

总 策 划　王文斌

封面设计　敬人书籍设计工作室
吕敬人+德浩

易览网
mepfair.com
中国机电产品网上展览馆

中国战略性新兴产业研究与发展

农业机械

地址:北京百万庄大街22号 邮编:100037
电话 社服务中心:(010)88361066 销售一部:(010)68326294 销售二部:(010)88379649 读者热线:(010)68326643
网络 易览网:http://www.mepfair.com 机工官网:http://www.cmpbook.com 机工官博:http://weibo.com/cmp1952

ISBN 978-7-111-42460-4

ISBN 978-7-111-42460-4
定 价:200.00元